

27448 14/06

TUGAS AKHIR
LL 1327



**STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN PENGARUH ARUS
DAN PENGARUH GELOMBANG PADA INITIAL DILUTION
OCEAN OUTFALL**



PS ke
627.39
846
5-1
2006

OLEH :

Puput Sukmana
4301 100 041

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	2-8-06
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	225638

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2006**

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN PENGARUH ARUS DAN PENGARUH GELOMBANG PADA INITIAL DILUTION OCEAN OUTFALL



Puput Sukmana
4301 100 041

Surabaya, *28 Juli* 2006

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I

Dr. Ir. Mukhtasor, M.Eng
NIP. 132 105 583

Pembimbing II

Sujantoko, ST. MT
NIP. 132/215 077

Ketua Jurusan Teknik Kelautan



Ir. Imam Rochani, M.Sc
NIP. 131 417 209

ABSTRAK

Puput Sukmana¹
Mukhtasor²
Sujantoko³

Ocean outfall merupakan salah satu sistem peralatan yang dapat digunakan untuk melepaskan buangan limbah, dan umumnya digunakan untuk membuang limbah yang zatnya mudah berubah dalam kurun waktu yang cukup lama. *Ocean outfall* sendiri merupakan rekayasa perpipaan bawah laut yang digunakan untuk menyalurkan limbah cair dari instalasi pengolahan ke laut lepas. Untuk memperoleh konfigurasi terbaik dari *ocean outfall*, perlu dilakukan penelitian untuk mengamati perilaku limbah yang dikeluarkan melalui *ocean outfall*. Penelitian ini membandingkan pengaruh arus dan pengaruh gelombang dalam *dilution* (pengenceran) limbah. Percobaan yang dilakukan dimulai dengan membuat suatu pemodelan limbah panas secara fisik di laboratorium, menggunakan metode distribusi temperatur. Pemodelan polutan dilakukan menggunakan transducer temperatur yang dilengkapi dengan sensor pendeteksi panas fluida sehingga besarnya *initial dilution* pada daerah *centerline plume* dapat dihitung. Peningkatan nilai *initial dilution* yang terjadi karena pengaruh gelombang berkisar antara 40% sampai dengan 70% untuk nilai z/L_M 7.5 dan 40% hingga 59% untuk z/L_M 5.7, sedangkan peningkatan nilai *initial dilution* karena pengaruh arus berkisar antara 38.3% hingga 390% untuk range z/l_b 0.008 hingga 35.863. Ini menunjukkan bahwa pengaruh arus lebih besar jika dibandingkan dengan pengaruh gelombang, namun peningkatan nilai *initial dilution* karena pengaruh gelombang cukup signifikan sehingga tidak dapat diabaikan dalam proses pengenceran limbah. Hasil penelitian diterapkan dalam sebuah studi kasus hipotetik dan menunjukkan bahwa hasil percobaan ini potensial untuk aplikasi analisis persoalan limbah industri di laut.

Kata kunci : *Ocean Outfall*, limbah cair, *initial dilution*, pencemaran laut, pembuangan limbah

ABSTRACT

Puput Sukmana¹
Mukhtasor²
Sujantoko³

Ocean outfall is a system that can be used to discharge the wastewater, and usually used to distribute nonconservative wastewater. The ocean outfall itself represent underwater piping that distribute the wastewater to the ambient water. To obtain the best configuration of ocean outfall, a research need to be done to observe the act of the wastewater that being discharge through the ocean outfall. This study compare the effect of current and the effect of wave in the dilution process of the wastewater. Experimental study started with making the physic model at the laboraturium, using the temperature distribution method. The wastewater modelling were done by using a temperature transducer that was provided with fluid heat detector so the initial dilution at the centerline discharge can be determined. The improvement of initial dilution that caused by the influence of the wave are ranging from 40% to 70% for z/L_M 7.5 and 40% to 59% for z/L_M 5.7, respectively while the improvement by the infuence of the current are ranging from 38.3% to 390% for z/l_b range from 0.008 to 35.863. This showing that the current gives more influence if it compared with the wave influence, but the improvement that given by wave quite significant, this showing that the influence of the wave cannot be ignore at the wastewater mixing process. The experimental result was applied in a hypothetic case study and showing that the experimental result is potential for industrial wastewater problem analysis at the sea.

Key words : *Ocean Outfall*, wastewater, *initial dilution*, marine pollution, seawater disposal

¹ Mahasiswa Teknik Kelautan FTK - ITS

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Kelautan FTK - ITS

³ Staf Pengajar Jurusan Teknik Kelautan FTK – ITS

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan lindunganNya kepada penulis, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN PENGARUH ARUS DAN PENGARUH GELOMBANG PADA INITIAL DILUTION OCEAN OUTFALL**”, sekaligus dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya.

Tugas akhir disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Dalam laporan Tugas Akhir ini penulis membahas tentang perbandingan antara pengaruh dari arus dan pengaruh dari gelombang terhadap peningkatan nilai dilusi pada sistem *ocean outfall*.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna menambah kelengkapan dan kesempurnaan untuk masa selanjutnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya mahasiswa Teknik Kelautan FTK-ITS.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Surabaya, 5 Juli 2006

Puput Sukmana

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan penelitian ini, penulis tidak terlepas dari bantuan serta dorongan moral maupun material dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak. Sehingga pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada pihak-pihak dibawah ini:

1. Bapak Dr. Ir. Mukhtasor, M.Eng, selaku pembimbing I. Terima kasih atas arahan dan bimbingan Bapak sehingga pada akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Sujantoko, ST. MT, selaku pembimbing II dan koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. Terima kasih atas kesempatan, dan waktu yang Bapak berikan sehingga proses penyelesaian Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar.
3. Bapak Ir. Arief Suroso, M.Sc, selaku Kepala Laboraturium Lingkungan Dan Energi Laut. Terima kasih atas waktu dan kesempatan yang Bapak berikan sehingga percobaan dapat selesai sesuai dengan waktu yang diinginkan.
4. Mas Mukhtar Arief selaku teknisi Laboraturium Lingkungan Dan Energi Laut. Terima kasih atas semua bantuan dan dukungannya selama penulis melakukan percobaan.
5. Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc, selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan.
6. Bapak Dr. Ir. Handayanu, M.Sc, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan.
7. Bapak Dr. Ir. Wahyudi Citrosiswoyo, M.Sc, selaku dosen wali penulis. Terima kasih atas waktu dan bimbingan yang Bapak berikan selama penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Kelautan.
8. Mama, Papa, Mas Ip, Mas Pulung, Yayan yang tidak pernah berhenti mendoakan dan mendukung penulis selama kuliah dan mengerjakan tugas akhir.
9. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Kelautan, atas ilmu dan bantuan yang diberikan selama ini.
10. Seluruh teman-teman Jurusan Teknik Kelautan, FTK – ITS.
11. Semua pihak yang turut membantu, yang tidak dapat kami tulis satu persatu.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Gambaran Umum <i>Ocean Outfall</i>	5
2.2 <i>Single Port Submerged Discharge</i>	7
2.3 Analisa Dimensi	8
2.4 Penyebaran <i>Effluent</i> di Perairan Tenang	9
2.5 Pengaruh Dari Arus	12
2.6 Pengaruh Dari Gelombang	15
2.7 Regresi Kuadrat Terkecil	18
2.7.1 Regresi Linear	19
2.7.2 Linearisasi Hubungan Nonlinear	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Prosedur Umum	22
3.2 Tempat dan Waktu Percobaan	26

3.3 Peralatan dan Bahan	26
3.4 Prosedur Percobaan	29
3.5 Kalibrasi Peralatan	29
BAB IV	ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN
4.1 Karakteristik Parameter	32
4.2 Kalibrasi Percobaan	33
4.3 Hasil Pemodelan di Laboratorium	38
4.3.1 Pengaruh Arus	38
4.3.2 Pengaruh Gelombang	42
4.4 Studi Kasus Hipotetik	44
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Karakteristik <i>Discharge</i> di Daerah Tertentu	32
Tabel 4.2 Karakteristik Percobaan di Laboratorium	33
Tabel 4.3 Data Percobaan Untuk Kalibrasi	35
Tabel 4.4 Perbandingan Nilai S_0	38
Tabel 4.5 Hasil Percobaan Dengan Pengaruh Arus	39
Tabel 4.6 Perbandingan Nilai Dilusi	42
Tabel 4.7 Data Lingkungan di Jawa Barat dan Jawa Timur	45
Tabel 4.8 Karakteristik <i>Discharge</i> di Laut Jawa	45
Tabel 4.9 Skala Panjang	47
Tabel 4.10 Nilai Dilusi	47

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Discharge pada air dalam	7
Gambar 2.2 Discharge pada air tenang (dangkal)	8
Gambar 2.3 Penyebaran <i>Effluent</i>	10
Gambar 2.4 Pengaruh Arus Terhadap Aliran	13
Gambar 2.5 Parameter Gelombang	15
Gambar 2.6 <i>Region of Validity</i>	17
Gambar 3.1 Flowchart Prosedur Penelitian	23
Gambar 3.2 Skema Percobaan	25
Gambar 3.3 Komputer Kontrol	27
Gambar 3.4 Current Generator Control Program	28
Gambar 3.5 Kurva Kalibrasi Untuk $z = 13$ cm	30
Gambar 3.6 Kurva Kalibrasi Untuk $z = 10$ cm	30
Gambar 4.1 Percobaan di Air Tenang	34
Gambar 4.2 Penyebaran <i>Effluent</i> di Perairan Tenang	35
Gambar 4.3 Nilai Dilusi Pada Perairan Tenang	36
Gambar 4.4 Penyebaran <i>Effluent</i> Dengan Pengaruh Arus	38
Gambar 4.5 Pengaruh u Terhadap Nilai S_u/S_0 pada $z/l_b = 0.008 - 35.863$	40
Gambar 4.6 Hasil Percobaan Untuk $z/l_b = 0.008 - 35.863$	41
Gambar 4.7 Hasil Percobaan Untuk $z/L_M = 7.5$	43
Gambar 4.8 Hasil Percobaan Untuk $z/L_M = 5.7$	43
Gambar 4.9 <i>Ocean Outfall</i> Pada Semisubmersibel	46
Gambar 4.10 Pengukuran Suhu <i>Effluent</i>	46



DAFTAR NOTASI

S_0	= <i>initial dilution</i> di perairan tenang
S_w	= <i>initial dilution</i> dengan pengaruh gelombang
S_u	= <i>initial dilution</i> dengan pengaruh arus
M	= momentum
B	= buoyancy
L_M	= jarak dimana buoyancy menjadi lebih dominan dari momentum jet
L_Q	= ukuran yang menyatakan bahwa geometri jet berpengaruh terhadap karakteristik aliran
l_m	= hubungan antara jet yang dipengaruhi oleh momentum dengan aliran arus
l_b	= jarak vertikal dimana kecepatan yang dipengaruhi oleh buoyancy telah berkurang akibat kecepatan arus yang besarnya u
Z_M	= jarak yang dibutuhkan momentum jet agar dipengaruhi oleh gelombang



BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Teknologi industri kelautan semakin berkembang sejak dilakukan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam yang terdapat di lautan. Sampai dengan saat ini teknologi yang digunakan telah mencapai tingkatan yang lebih tinggi, dan akan makin tinggi lagi di masa yang akan datang. Dalam mengeksploitasi sumber daya alam, selain menghasilkan bahan-bahan yang berguna bagi kehidupan manusia peralatan yang digunakan juga akan menghasilkan zat sisa yang tidak terpakai (limbah) dan akan dibuang ke laut.

Berbagai macam cara telah dilakukan agar buangan limbah yang dilepaskan ke laut dapat bercampur secara efektif, sehingga konsentrasi racun, asam, logam berat dan senyawa-senyawa organik yang melebihi ambang batas dapat terurai dengan baik sehingga tidak mengganggu kehidupan biota laut. *Ocean outfall* merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk melepaskan buangan limbah, dan umumnya digunakan untuk membuang limbah non konservatif yaitu limbah yang zatnya mudah berubah dalam kurun waktu yang cukup lama. *Ocean outfall* sendiri merupakan fasilitas berupa perpipaan di dalam laut yang akan menyalurkan buangan limbah menuju laut.

Banyak penelitian telah dilakukan untuk memperoleh konfigurasi dari bouyant jet agar buangan limbah dapat tercampur secara sufisien dengan air laut dan pada akhirnya konsentrasi dari *effluent* dapat tereduksi menjadi lebih kecil, seperti yang telah dilakukan oleh Lee dan Cheung (1991) yang melakukan studi eksperimen untuk memodelkan proses *initial dilution* suatu *effluent* yang dibuang melalui sistem outfall dengan terminal pembuangan (*port*) mengarah vertikal atau tegak lurus terhadap arah arus dan menghasilkan suatu nilai konstanta initial dilution pada zona BDNF (*Buoyancy Dominated Near Field*). Selain itu, Pribadi (2005) dalam tugas akhirnya juga menganalisa bagaimana cara atau metode yang paling

baik yang digunakan pada fasilitas pembuangan agar effluen dapat diarahkan pada proses alami dalam laut sehingga limbah stabil dan tidak merusak lingkungan dengan melakukan variasi sudut port pada arus *co-flow* berdasarkan data-data awal model Lee & Cheung (1991) yang menggunakan port vertikal. Pada penelitian yang lain, Mukhtasor dkk (2002) menghasilkan pendekatan baru mengenai pemodelan *initial dillution* pada daerah *buoyancy-dominated jet*, baik pada BDNF maupun BDFF, yang lebih sistematis dari model asimtotik (Lee and Cheung, 1991). Penelitian-penelitian diatas merupakan beberapa dari penelitian yang mempertimbangkan pengaruh arus sebagai faktor yang berpengaruh sangat besar dalam proses penguraian, dan mengabaikan pengaruh gelombang karena dianggap pengaruhnya kecil sekali.

Beberapa peneliti yang memperhatikan faktor gelombang antara lain Chin (1987) yang meneliti pengaruh gelombang permukaan dalam sistem *ocean outfall* dan menyimpulkan bahwa untuk sistem *outfall* dengan kedalaman 7.7 m, periode gelombang 5 s dan amplitudo 30 cm akan meningkatkan proses penguraian dengan nilai faktor 2, sehingga pengaruh dari gelombang seharusnya diperhitungkan dalam perancangan. Hwung dkk (1994) melakukan percobaan untuk mengetahui proses dilusi akibat gerakan gelombang, dan diperoleh nilai dilusi meningkat dalam pengaruh gelombang.

Penelitian kali ini akan dilakukan pada air tenang dan nilai dilusinya akan dibandingkan dengan nilai dilusi yang dipengaruhi oleh arus, dan nilai dilusi yang dipengaruhi oleh gelombang pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Dari perbandingan peningkatan nilai dilusi dapat diketahui pengaruh yang lebih dominan antara arus dan gelombang dalam *initial dilution* pada sistem *ocean outfall*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Berapa nilai *initial dilution* dari suatu effluen/limbah yang dibuang ke perairan tenang melalui sistem *ocean outfall* jenis *buoyant jet*?
2. Berapa peningkatan nilai *initial dilution* pada *effluent* akibat pengaruh dari arus dan pengaruh dari gelombang pada sistem *ocean outfall* jenis *buoyant jet*?
3. Faktor manakah yang lebih dominan antara arus dan gelombang dalam proses penguraian *effluent* pada sistem *ocean outfall* jenis *buoyant jet*?

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah diatas, maka dapat ditentukan tujuan dari penelitian yang dilakukan, yaitu :

1. Mengetahui nilai *dilution* dari suatu effluen/limbah yang dibuang ke perairan tenang melalui sistem *ocean outfall* jenis *buoyant jet* untuk perairan tenang.
2. Mengetahui perubahan nilai *dilution* pada *effluent* akibat pengaruh dari arus dan pengaruh dari gelombang pada sistem *ocean outfall* jenis *buoyant jet*.
3. Mengetahui faktor yang lebih dominan antara arus dan gelombang dalam proses penguraian *effluent* pada sistem *ocean outfall* jenis *buoyant jet*.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian yang dilakukan adalah :

1. Dengan mengetahui nilai *dilution* dari suatu *effluent*/limbah, maka diperoleh karakteristik dari *initial dilution* pada perairan tenang.
2. Dengan mengetahui peningkatan nilai *dilution* diperoleh faktor yang lebih dominan dalam proses penguraian *effluent* pada sistem *ocean outfall* jenis *buoyant jet*.
3. Dengan mengetahui faktor yang lebih dominan dalam proses penguraian limbah, maka dapat dibuat kesimpulan sehingga dalam percobaan-percobaan berikutnya faktor yang lebih berpengaruh dapat diperhitungkan dalam perencanaan.

1.5 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang akan dipecahkan tidak terlalu meluas maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut:

1. Pemodelan dilusi dilakukan pada kondisi perairan tenang dan pada kondisi perairan yang dipengaruhi oleh arus.
2. Fluida buangan atau effluen bersifat incompressible dan inviscid.
3. Struktur *outfall* menggunakan satu saluran pembuangan (*single port submerged discharge*).
4. Pengaruh zat warna terhadap perubahan masa jenis *effluent* diabaikan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum *Ocean Outfall*

Teknologi *ocean outfall* merupakan rekayasa perpipaan bawah laut yang digunakan untuk mengalirkan limbah cair ke laut lepas sehingga terjadi penguraian limbah secara alami, faktor alam yang dimanfaatkan untuk untuk memproses kandungan limbah tersebut adalah konsentrasi oksigen terlarut, kecepatan arus, kedalaman laut, difusi molekul dan turbulensi, kondisi gelombang serta energi matahari. Untuk meningkatkan kerja proses pengurangan konsentrasi limbah dapat dilakukan perancangan bentuk dan jenis pipa penyebar serta tata letaknya sesuai dengan kondisi air laut dan kualitas limbah yang akan ditangani.

Bentuk *ocean outfall* bervariasi, mulai dari *single submerged pipe* untuk komunitas kecil hingga *large multiport outfall* untuk populasi yang sangat besar. Ketika limbah organik dilepaskan ke air yang kaya akan oksigen, terjadi penguraian melalui proses alami. Limbah diuraikan oleh bakteri dan mikro-organisme lain sama seperti limbah diuraikan pada *treatment plant*. *Outfall* mengandalkan pencampuran yang baik dengan air penerima untuk menjamin cukupnya kebutuhan pencampuran oksigen sehingga penguraian secara alami dapat terjadi tanpa mengurangi konsentrasi pencampuran oksigen (Mukhtasor, 2001).

Pada banyak situasi pantai di Eropa dan Amerika, sangat perlu untuk menggunakan sistem *outfall* beberapa kilometer dari pantai untuk memperoleh kedalaman yang dibutuhkan agar terjadi pencampuran yang baik. Kebanyakan dari pantai di Kanada, laut dalam terdapat dekat dari pantai dan kedalaman yang dibutuhkan diperoleh dengan menggunakan sistem *outfall* hanya beberapa ratus meter melewati laut dangkal. Sangat penting untuk mengkombinasikan sistem ini dengan karakteristik penyebaran yang baik untuk memastikan penguraian limbah terjadi tanpa mengakibatkan gangguan (Allen dkk, 1987).

Pelepasan limbah oleh pipa penyalur biasanya menggunakan satu sistem penyebaran atau lebih. Sistem penyebaran limbah menggunakan banyak *port* digunakan untuk memisahkan aliran limbah menjadi lebih kecil tetapi dengan jumlah yang besar. Pada daerah ini, pipa penyalur diperkecil ke arah ujung pipa untuk mempertahankan kontrol hidraulik dari sistem penyebaran agar tetap berada dibawah rentang signifikan kondisi aliran. Setiap *port* mengeluarkan pancaran dengan kecepatan yang lebih tinggi dari aliran pada pipa dan menimbulkan gaya shear pada air. Ketika gaya shear ini menghilang, bouyancy mulai bekerja sehingga limbah naik ke permukaan dan mengakibatkan terjadinya penguraian di air.

Untuk kondisi desain yang lain, *dilution* pada limbah di akhir zona shear akan turun tetapi akan meningkat ketika limbah naik ke permukaan. Limbah kemudian akan menyebar menjauh dari daerah *outfall* dan *dilution* dari limbah semula dapat meningkat dalam satu siklus pasang surut. Dalam beberapa situasi, keberadaan dari air payau pada permukaan dapat mengakibatkan limbah tetap tenggelam atau berada di bawah permukaan air.

Salah satu aspek dalam pembuangan limbah ke laut yang sering salah mengerti adalah jumlah dari polutan. Ketika berhubungan dengan zat organik contohnya, tidak ada percobaan yang dilakukan untuk menghilangkan kontribusi polusi material selama persiapan pelaksanaan. Tujuannya, adalah agar terjadi pencampuran dengan limbah cair sehingga ketika dilakukan pembuangan, material pengganggu secara seragam terdistribusikan pada konsentrasi rendah melalui air penerima. Ketika sistem *outfall* telah dipasang, sejumlah zat organik ini tersebar ke daerah yang lebih luas.

Initial dilution adalah salah satu aspek terpenting dalam melakukan desain *outfall*, yaitu merupakan perbandingan dari konsentrasi polutan atau limbah yang dibuang dengan konsentrasi setelah mencapai level kesetimbangan (Mukhtasor dkk, 2002), dan dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \frac{(C_d - C_a)}{(C - C_a)} \quad (2.1)$$

dimana :

- S = initial dilution
 C_d = konsentrasi *effluent*
 C_a = konsentrasi *ambient*
 C = konsentrasi pada kesetimbangan

Untuk sistem yang menggunakan pengukuran berdasarkan perbedaan suhu, persamaan di atas dapat dirumuskan :

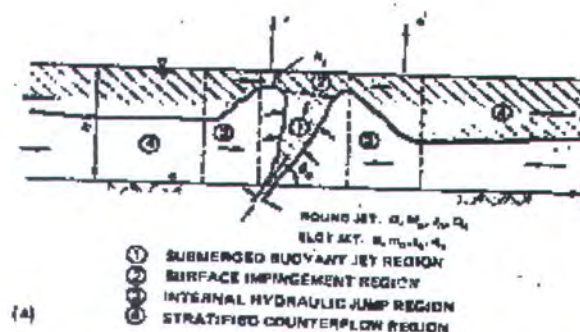
$$S = \frac{(T_d - T_a)}{(T - T_a)} \quad (2.2)$$

dengan :

- T_d = temperatur *effluent* ($^{\circ}\text{C}$)
 T_a = temperatur *ambient* ($^{\circ}\text{C}$)
 T = temperatur pada level kesetimbangan ($^{\circ}\text{C}$)

2.2 Single Port Submerged Discharge

Single port submerged discharge merupakan bentuk sederhana dari outfall, dengan hanya satu *port* dan hanya dapat dibuka dan ditutup di dasar laut. Effluen dikeluarkan dari nozzle dengan kecepatan U_0 , perbedaan densitas relatif dan percepatan gravitasi g' , dengan diameter lubang nozzle/diffuser sebesar D (Jirka, 1986).



Gambar 2.1 Discharge pada air dalam (Jirka, 1986)



Gambar 2. 2 Discharge pada air tenang (dangkal). (Jirka, 1986)

Untuk proses dilusi dimana jet Reynold numbernya, Re mencapai 2000, hal ini sering terjadi pada kondisi praktis dan alirannya adalah turbulen. Konsentrasi dan kecepatan daripada proses dilusi ini ditentukan oleh dua parameter penting, yaitu harga Froude Number (F_o), dan kedalaman relatif dibandingkan dengan diameter port.

2.3 Analisa Dimensi

Tujuan dasar dari analisa dimensi adalah untuk menemukan variabel non-dimensional yang berguna untuk menjelaskan proses dan untuk memberikan dasar pada persamaan antara model fisik dan prototipe (Fischer, 1979). Terdapat beberapa cara dalam menentukan bilangan tak berdimensi, salah satunya adalah teori Buckingham π , teori ini memberikan informasi tentang berapa banyak kelompok non-dimensional diperlukan untuk memberikan daftar dari variabel.

Teori yang bersangkutan ditetapkan sebagai berikut :

Diberikan :

1. Variabel q_1, q_2, \dots, q_n masing-masing mewakili ukuran dari jumlah fisik.
2. q_1 adalah variabel yang tidak berdiri sendiri dan q_2, q_3, \dots, q_n adalah variabel yang berdiri sendiri,

$$q_1 = f(q_2, q_3, \dots, q_n)$$

3. Melibatkan k dimensi fisik yang berbeda (panjang, waktu, masa, temperatur,.....).

Kemudian :

1. Ada $(n - k)$ kelompok non-dimensional $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-k}$, yang bisa dibentuk secara independen dari q_1, q_2, \dots, q_n .



2. Hubungan fungsional dari q (pers. 15) diturunkan menjadi

$$\pi_1 = F(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-k}).$$

3. Tidak ada satu kelompok perlu bergantung pada lebih dari $k + 1$ dari q .

Kebanyakan buku menunjukkan cara formal untuk menentukan eksponen (x_{ij}) untuk memformulasikan π , seperti

$$\pi_i = \prod_{j=1}^n q_j^{x_{ij}} \quad 1 \leq i \leq n - k$$

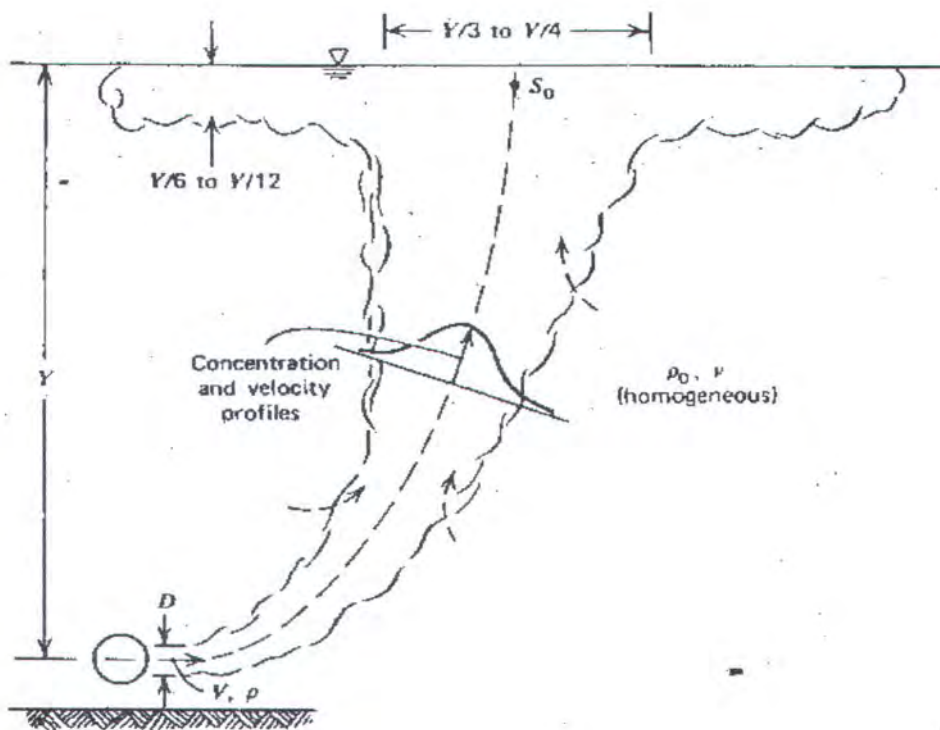
dimana x_{ij} adalah matrix eksponen yang dipilih untuk membuat semua unit tidak keluar sehingga masing-masing π_i menjadi non-dimensional. Untuk masing-masing i , $(n - k - 1)$ dari x_{ij} dapat diset sama dengan 0 menurut teori π .

2.4 Penyebaran *Effluent* di Perairan Tenang

Effluent menyebar secara horizontal menuju air penerima dan naik ke permukaan ditunjukkan dalam Gambar 2.3, Y merupakan jarak vertikal dari *port* ke permukaan bebas, D adalah diameter *port*, V dan ρ adalah kecepatan jet dan masa jenis, ρ_0 adalah masa jenis air penerima, dan S_0 adalah garis tengah permukaan dilusi. *Effluent* dan air penerima diasumsikan memiliki kecepatan viskositas yang sama ν . Percepatan gravitasi, yang sama dengan gaya buoyancy per unit masa dari *effluent* diberikan sebagai,

$$g' = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho} g \quad (2.3)$$

Geometri dari *plume* dan resultan dari *effluent dilution* bergantung pada rasio dari kedalaman air terhadap diameter *port*, momentum dari jet, dan gaya buoyancy akibat perbedaan masa jenis *effluent* dan air penerima. Ketika *effluent* naik, konsentrasi dan masa jenis *effluent* dan gaya buoyancy menurun, dan *plume* menyebar ke samping. Konsentrasi *effluent* dan kecepatan jet bernilai maksimum sepanjang garis tengah *plume* dan semakin berkurang jika berada diluar garis tengah *plume*.



Gambar 2.3 Penyebaran *Effluent* (Sorensen, 1998)

Pada arah horizontal, momentum fluks maksimum pada saat pelepasan. Setelah itu, momentum secara kontinyu berkurang hingga mendekati nol ketika berlawanan dengan komponen horizontal gaya shear turbulent. Komponen horizontal dari kecepatan jet berkurang dari maksimum pada saat pelepasan menjadi nol ketika mencapai permukaan.

Pada arah vertikal, pada awalnya hanya gaya buoyancy yang berpengaruh dan mengakibatkan jet mendapat momentum fluks vertikal, sehingga meningkatkan komponen percepatan. Sepanjang jet aksis, penurunan gaya buoyancy dan peningkatan komponen shear vertikal, berhubungan dengan perubahan arah jet dan meningkatkan kecepatan jet, menyebabkan percepatan vertikal berkurang secara kontinyu. Jika *plume* cukup panjang, kemungkinan gaya buoyancy akhirnya menjadi lebih kecil dari gaya turbulen shear dan mengakibatkan jet menjadi berkurang kecepatannya dan mungkin saja berhenti pada suatu titik dibawah permukaan air. Gaya buoyant bahkan bisa menjadi negatif jika *effluent* bercampur dengan padatan dasar laut sehingga masa jenisnya menjadi lebih besar

dari *effluent* tanpa padatan dasar laut. *Plume* tersebut tampak seperti terperangkap dibawah permukaan jika ada *thermocline* yang berperan sebagai penutup. Momentum fluks vertikal dapat membawa jet keatas titik ekuilibrium masa jenis statis, tapi ketika momentum menghilang, *effluent* turun lagi pada tingkat dengan masa jenis yang sama dan menyebar pada daerah ini. Dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Abraham (1963), diperoleh

$$S_0 = f(Y, D, g', V) \quad (2.4)$$

dan analisa dimensi

$$S_0 = f\left(F, \frac{Y}{D}\right) \quad (2.5)$$

dimana

$$F = \frac{V}{\sqrt{g'D}} \text{ (Froude number)} \quad (2.6)$$

Jika kecepatan pelepasan dan diameter *port* cukup besar (sehingga angka Reynold lebih dari 5000) jet akan mengalami turbulent, viskositas akan mendominasi melebihi viskositas molekul, yang kemudian tidak perlu dipertimbangkan, dan pola aliran akan sama secara dinamis jika rasio geometri dan angka Froude sama. Angka Reynold berkisar antara $10^5 - 10^6$, dan jika angka Reynold cukup tinggi pada percobaan, persamaan (2.6) bisa digunakan untuk mempresentasikan hasil percobaan.

Hasil yang lain juga diberikan oleh Cederwall (1968) dengan persamaan yang lebih baik dan sederhana. Dimana dalam percobaannya, Cederwall (1968) memodelkan seluruh range untuk *buoyant jet* dengan arah *discharge* horizontal mulai dari pengaruh *buoyancy* yang lebih dominan hingga pengaruh momentum yang lebih dominan. Hasil percobaan Cederwall (1968) diberikan dalam persamaan :

$$S_0 = 0.54 F^{9/16} \left(\frac{Y}{D}\right)^{7/16} \quad (2.7)$$

$$\text{Untuk } \left(\frac{Y}{D}\right) < 0.5 F$$

$$S_0 = 0.54 F \left(0.38 \frac{(Y/D)}{F} + 0.66 \right)^{5/3} \quad (2.8)$$

$$\text{Untuk } \left(\frac{Y}{D} \right) > 0.5 F$$

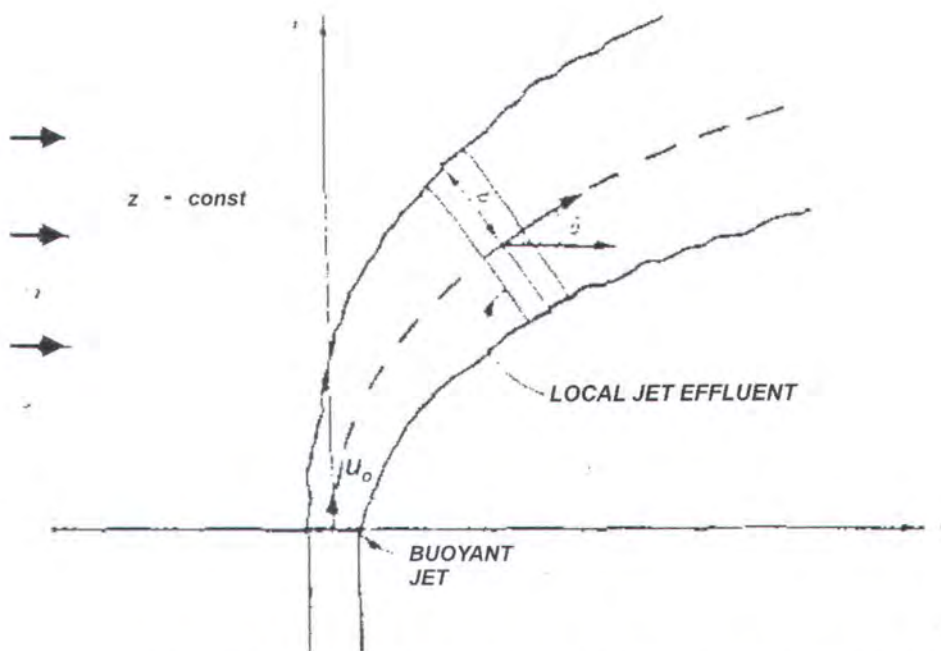
Dimana S_0 adalah *initial dilution* dari penyebaran limbah di perairan tenang, D adalah diameter *outfall* (m), Y adalah kedalaman air diatas sumber pelepasan (m) dan F adalah Froude number yang diberikan sebagai :

$$F = \frac{4Q}{3.14 D^{5/2}} \left(\frac{g(\rho_a - \rho_e)}{\rho_e} \right)^{-1/2} \quad (2.9)$$

Dengan Q adalah debit *effluent* (m^3/s), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), ρ_a dan ρ_e adalah massa jenis (kg/m^3) dari ambient dan *effluent*.

2.5 Pengaruh Dari Arus

Akibat adanya arus pada air, *bouyant jet* akan dibelokkan oleh tekanan dan aliran arus disekitar *jet*. Pada prinsipnya, pencampuran ditentukan oleh momentum dan buoyancy pada saat pelepasan, dan dipengaruhi juga oleh gaya dari arus. Ketika momentum menjadi faktor yang berpengaruh langsung, orientasi dari port terhadap kecepatan arus menjadi sangat penting. Pada prakteknya, kebanyakan pelepasan ke laut dipengaruhi langsung oleh buoyancy dan sedikit dipengaruhi oleh momentum dan juga arah pelepasan.



Gambar 2.4 Pengaruh Arus Terhadap Aliran (Lee dan Cheung, 1991)

Pada kasus pelepasan *buoyant jet* ke air yang bergerak, *initial dilution* dapat diberikan oleh parameter (Lee and Cheung, 1991; Wright 1977)

$$S = f(Q, M, B, u, z) \quad (2.10)$$

dimana S adalah *initial dilution* pada elevasi z ; Q adalah kecepatan pelepasan *outfall*; M adalah momentum pelepasan fluks, yang diberikan sebagai

$$M = V_j Q \quad (2.11)$$

dimana V_j adalah kecepatan pelepasan jet; u adalah kecepatan arus lingkungan; dan B adalah *buoyancy* fluks, yang diberikan sebagai

$$B = Qg \frac{\rho_a - \rho_0}{\rho_0} \quad (2.12)$$

dimana g adalah percepatan gravitasi; dan ρ_a dan ρ_0 massa jenis air dan *effluent*.

Dua skala panjang yang menggolongkan pelepasan jet adalah l_M dan l_Q , dengan persamaan

$$l_M = \frac{M^{3/4}}{B^{1/2}} \quad (2.13)$$

$$l_Q = \frac{Q}{M^{1/2}} = (A)^{1/2} \quad (2.14)$$

Skala panjang l_M adalah jarak dimana *buoyancy* menjadi lebih dominan dari momentum jet dan skala panjang l_Q adalah ukuran yang menyatakan bahwa geometri jet berpengaruh terhadap karakteristik aliran.

Karena terdapat kecepatan dari arus, dua skala panjang lagi dapat diberikan yaitu l_m dan l_b , yang diberikan sebagai

$$l_m = \frac{M^{1/2}}{u} \quad (2.15)$$

$$l_b = \frac{B}{u^3} \quad (2.16)$$

skala panjang l_m merupakan hubungan antara jet yang dipengaruhi oleh momentum dengan aliran arus dan skala panjang l_b merupakan jarak vertikal dimana kecepatan yang dipengaruhi oleh *buoyancy* telah berkurang akibat kecepatan arus yang besarnya u .

Jika hubungan fungsional pada persamaan (2.7) diberikan dalam parameter non-dimensional yang dibentuk dari bermacam skala panjang, salah satu hasil yang mungkin adalah

$$S = f\left(\frac{l_Q}{l_b}, \frac{l_m}{l_b}, \frac{z}{l_b}\right) \quad (2.17)$$

Untuk pelepasan *buoyancy dominated jet* (misalnya dari perpipaan ke laut) persamaan berikut dapat digunakan

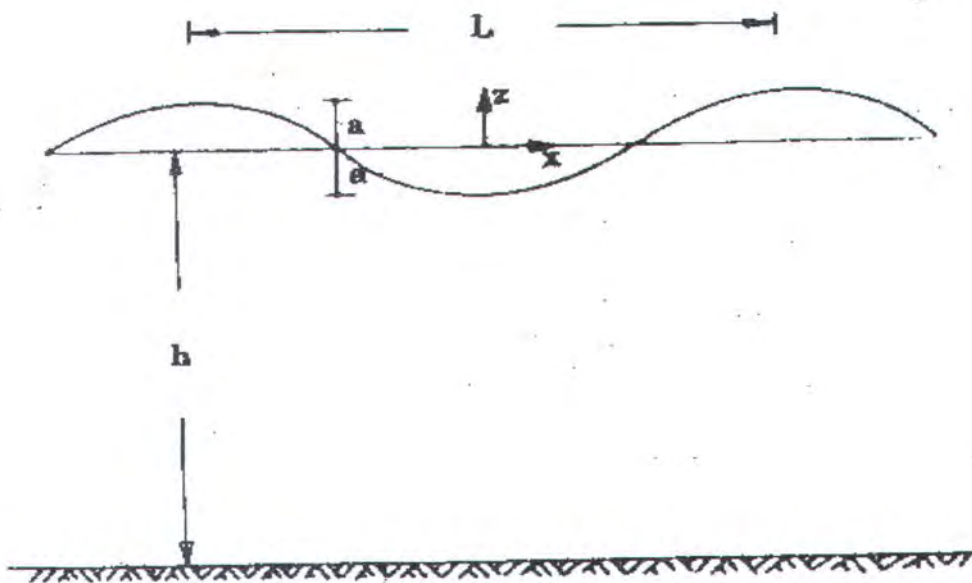
$$\frac{SQ}{ul_b^2} = C_1 \left(\frac{z}{l_b}\right)^{5/3} \quad \text{untuk BDNF} \quad (2.18)$$

$$\frac{SQ}{ul_b^2} = C_2 \left(\frac{z}{l_b}\right)^2 \quad \text{untuk BDFF} \quad (2.19)$$

Istilah BDNF dan BDFF mengacu pada kondisi pelepasan, *buoyancy dominated near field* (BDNF) untuk $(z/l_b \ll 1)$ dan *buoyancy dominated near field* (BDFF) untuk $(z/l_b \gg 1)$ (Lee and Cheung, 1991). Koefisien C_1 dan C_2 , diperoleh dari data eksperimen yang besarnya 0.1 dan 0.51.

2.6 Pengaruh Dari Gelombang

Permasalahan mengenai perlakuan kinematik dan dinamik dari aliran jet dalam gerakan gelombang dilakukan pertama kali oleh Shuto & Ti (1974). Penelitiannya menunjukkan bahwa nilai dilusi dari *buoyant plume* pada gelombang panjang sebanding dengan rasio dari kecepatan pelepasan dengan karakteristik dari kecepatan horizontal gerakan gelombang, dan berbanding terbalik dengan hasil kali rasio kedalaman air dengan diameter *nozzle*. Sharp & Power (1985) melakukan pengamatan terhadap pola penyebaran pada gelombang pendek dan panjang secara berturut-turut, dan menyimpulkan bahwa gelombang pendek akan mengubah aliran jet ketika mencapai permukaan. Penelitian diatas mendukung informasi yang tidak cukup yang dibutuhkan dalam desain semenjak kebanyakan sistem *ocean outfall* ditempatkan di kedalaman air menengah.



Gambar 2.5 Parameter Gelombang (Chin, 1987)

Nilai dilusi dari *effluent* pada gerak gelombang merupakan fungsi dari parameter kontrol pada *buoyant jet* dan gelombang permukaan, termasuk faktor dari pengaruh kinematik dan dinamik dari *buoyant jet* seperti :

- momentum, $M = QV_0$
- buoyancy, $B = Qg_0$
- kedalaman pelepasan, H .

Parameter yang menjelaskan gerakan dari gelombang permukaan adalah kedalaman air, h ; amplitudo gelombang, a ; periode gelombang, T ; dan gravitasi, g . Dua variabel lagi yang menjelaskan hubungan antara buoyant jet dan gelombang permukaan adalah sudut antara pelepasan dengan arah horizontal, θ_1 ; dan sudut antara pelepasan dengan arah perambatan gelombang, θ_2 . Dari parameter kontrol ini, karakteristik dari nilai dilusi dirumuskan sebagai berikut,

$$S = f(M, B, Q, H, h, a, T, g, \theta_1, \theta_2) \quad (2.20)$$

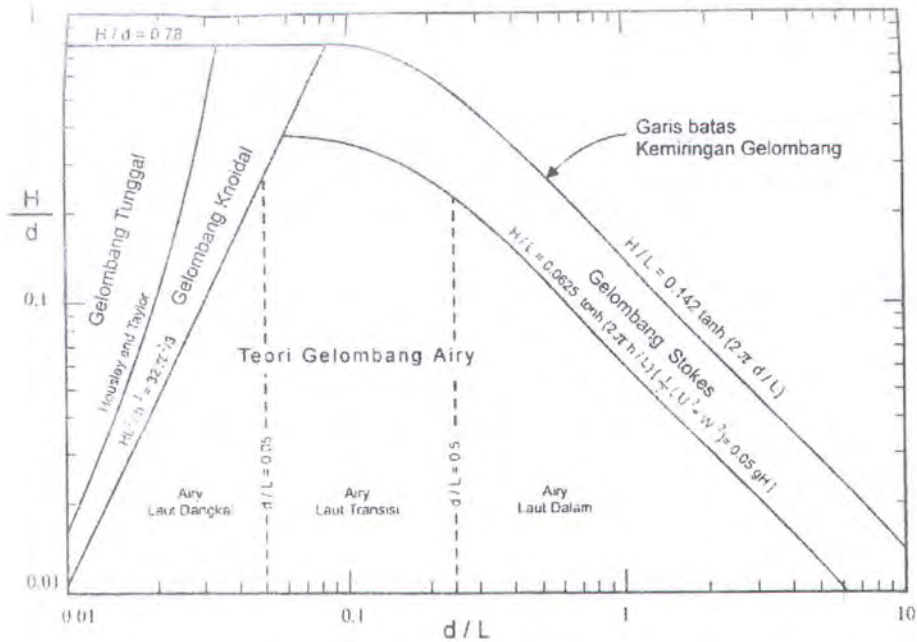
Definisi dari skala panjang adalah,

$$L_q = \frac{Q}{M^{1/2}} = (A)^{1/2} \quad (2.21)$$

$$L_m = \frac{M^{3/4}}{B^{1/2}} \quad (2.22)$$

$$Z_m = \frac{M^{1/2}}{U_{\max}} \quad (2.23)$$

Dimana L_m adalah skala panjang diluar aliran plume yang didominasi oleh buoyancy; A merupakan araea dari mulut pipa; dan U_{\max} adalah amplitudo dari kecepatan partikel gelombang horizontal. Persamaan kecepatan partikel gelombang ditentukan dengan memplotkan perbandingan kedalaman dan panjang gelombang serta perbandingan tinggi gelombang dan kedalaman dalam Gambar 2.6 berikut



Gambar 2.6 *Region of Validity* (Triatmojo, 1999)

teori gelombang yang digunakan merupakan teori gelombang Airy, dengan persamaan kecepatan partikel gelombang :

$$U_{max} = \frac{agk \cosh k(d+y)}{\sigma \cosh kd} \quad (2.24)$$

σ dan k adalah frekuensi angular dan angka gelombang. Dengan menondimensionalkan persamaan (2.17) dengan nilai dilution dari buoyant jet pada air tenang menghasilkan

$$\frac{S}{S_0} = f\left(\frac{H}{L_m}, \frac{L_m}{L_q}, \frac{Z_m}{L_q}, \frac{h}{L}, \theta_1, \theta_2\right) \quad (2.25)$$

dimana berisi kelompok variabel non-dimensional yang menandai kenaikan dari *effluent* akibat gerakan gelombang. Perbandingan kedalaman dengan skala panjang diluar aliran plume yang didominasi oleh buoyancy dan perbandingan skala panjang diluar aliran plume yang didominasi oleh buoyancy dengan skala panjang dimana karakteristik aliran dipengaruhi oleh geometri jet, merupakan parameter non-dimensional yang sangat mempengaruhi S_0 , tetapi, bagaimanapun juga mereka menjadi kecil pengaruhnya dalam meningkatkan nilai dilusi akibat

pengaruh gelombang pada *buoyant jet* ketika $H \gg L_m \gg L_q$. Pada penelitian selanjutnya diperoleh $\theta_1 = 0$ dan persamaan (2.22) dapat disederhanakan menjadi

$$\frac{S}{S_0} = f\left(\frac{Z_m}{L_q}, \frac{h}{L}, \theta_2\right) \quad (2.26)$$

Berdasarkan percobaan Chin (1987), persamaan (2.23) dilinearkan menjadi

$$\frac{S}{S_0} = 1 + C_s \frac{L_q}{Z_m} \quad (2.27)$$

dimana C_s adalah koefisien yang bergantung pada sudut interaksi antara *buoyant jet* dan gelombang permukaan. Dari ukuran kuantitatif, C_s dapat digunakan untuk menilai karakteristik dari pengaruh sudut.

2.7 Regresi Kuadrat Terkecil

Satu cara untuk menentukan garis adalah secara visual memeriksa data yang digambarkan grafiknya dan kemudian menggambarkan sketsa garis terbaik yang melalui garis tersebut. Walaupun pendekatan yang demikian sangat menarik, tetapi pendekatan tersebut kurang baik karena titik-titik yang ada adalah sembarang, terkecuali jika titik-titik tersebut mendefinisikan sebuah garis lurus yang sempurna.

Untuk menghilangkan kesubjektifan ini, harus diciptakan beberapa kriteria untuk mengukur kecukupan dari kecocokan. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan menurunkan kurva yang meminimumkan ketidaksesuaian antara titik-titik data dan kurva, yang disebut dengan regresi kuadrat terkecil (Chapra, 1994).

2.7.1 Regresi Linear

Persamaan matematis untuk garis lurus adalah

$$y = a_0 + a_1x + E \quad (2.28)$$

dimana a_0 dan a_1 adalah koefisien-koefisien yang masing-masing mewakili perpotongan (*intercept*) kemiringan (*slope*) dan E adalah galat atau sisa antara model dan pengamatan. Salah satu cara untuk mencocokkan garis melalui data adalah dengan meminimumkan jumlah galat-galat sisa,

$$\sum_{i=1}^n e_i = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i) \quad (2.29)$$

dimana n adalah jumlah total dari titik-titik. Kecocokan terbaik adalah garis yang menghubungkan titik-titik itu, namun sebaran garis lurus yang melalui titik tengah garis penghubung menghasilkan nilai minimum karena galat-galatnya saling membatalkan.

Kriteria lainnya adalah meminimumkan jumlah nilai-nilai mutlak ketidaksesuaian,

$$\sum_{i=1}^n |e_i| = \sum_{i=1}^n |y_i - a_0 - a_1x_i| \quad (2.30)$$

sebaran garis lurus jatuh diantara garis yang akan meminimumkan nilai mutlak dari jumlah, jadi kriteria ini juga tidak menuju ke satu kecocokan terbaik.

Cara ketiga untuk mencocokkan garis terbaik adalah kriteria *minimaks*. Dalam teknik ini, garis yang dipilih meminimumkan jarak maksimum suatu titik dari garis tersebut. Strategi ini cocok untuk regresi karena memberikan pengaruh yang tidak semestinya pada titik terpencil, yaitu titik tunggal dengan nilai galat besar. Strategi untuk mengatasi kelemahan pendekatan tersebut diatas adalah meminimumkan jumlah kuadrat sisa,

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i)^2 \quad (2.31)$$

kriteria ini mempunyai sejumlah keuntungan termasuk kenyataan bahwa ia menghasilkan garis yang unik untuk himpunan data yang diberikan.

Untuk menentukan nilai-nilai a_0 dan a_1 , persamaan 2.31 dideferensialkan terhadap masing-masing koefisien :

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2 \sum (y_i - a_0 - a_1 x_i) \quad (2.32)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2 \sum [(y_i - a_0 - a_1 x_i) x_i] \quad (2.33)$$

dengan menetapkan turunan-turunan ini sama dengan nol akan menghasilkan sebuah S_r yang minimum. Setelah mengetahui bahwa $\sum a_0 = na_0$, persamaan-persamaannya dapat diungkapkan sebagai himpunan dua persamaan linear dengan dua bilangan (a_0 dan a_1) :

$$na_0 + \sum x_i a_1 = \sum y_i \quad (2.34)$$

$$\sum x_i a_0 + \sum x_i^2 a_1 = \sum x_i y_i \quad (2.35)$$

ini merupakan persamaan-persamaan normal dan dapat dipecahkan secara simultan untuk :

$$a_1 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (2.36)$$

hasil ini kemudian dipakai bersama dengan persamaan 2.34 untuk menyelesaikan

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad (2.37)$$

dimana \bar{y} dan \bar{x} masing-masing adalah rata-rata (means) dari x dan y (Chapra, 1994).

2.7.2 Linearisasi Hubungan Nonlinear

Regresi linear memberikan teknik yang ampuh untuk mencocokkan garis terbaik terhadap data. Namun teknik tersebut bergantung pada kenyataan bahwa kaitan antara peubah tak bebas dan bebas adalah linear. Kasusnya tidak selalu demikian, dan langkah pertama dalam analisa regresi seharusnya berupa penggambaran grafik dan secara visual memeriksa data untuk memastikan apakah berlaku suatu model linear, misalnya pada beberapa data yang kurvilinear. Dalam beberapa kasus, teknik-teknik seperti regresi polinom adalah sesuai, untuk lainnya dapat dipakai transformasi untuk mengungkapkan data dalam bentuk yang kompatibel dengan regresi linear.

Satu contoh adalah model eksponen (exponential model)

$$y = a_1 e^{b_1 x} \quad (2.38)$$

dimana a_1 dan b_1 adalah konstanta. Model ini dipakai dalam banyak bidang rekayasa untuk mencirikan besaran yang bertambah (b_1 positif) atau berkurang (b_1 negatif) pada laju yang berbanding langsung terhadap besarannya sendiri.

Contoh lain model tak linear adalah persamaan pangkat sederhana

$$y = a_2 x^{b_2} \quad (2.39)$$

dimana a_2 dan b_2 adalah koefisien konstanta. Model ini mempunyai kemampuan penerapan luas di semua bidang rekayasa.

Teknik regresi nonlinear tersedia untuk mencocokkan persamaan-persamaan ini secara langsung pada data eksperimental. Namun alternatif yang lebih sederhana adalah memakai manipulasi matematis untuk mentransformasikan persamaan ke bentuk linear, maka regresi linear sederhana dapat diterapkan untuk mencocokkan persamaan pada data (Chapra, 1994).



BAB III

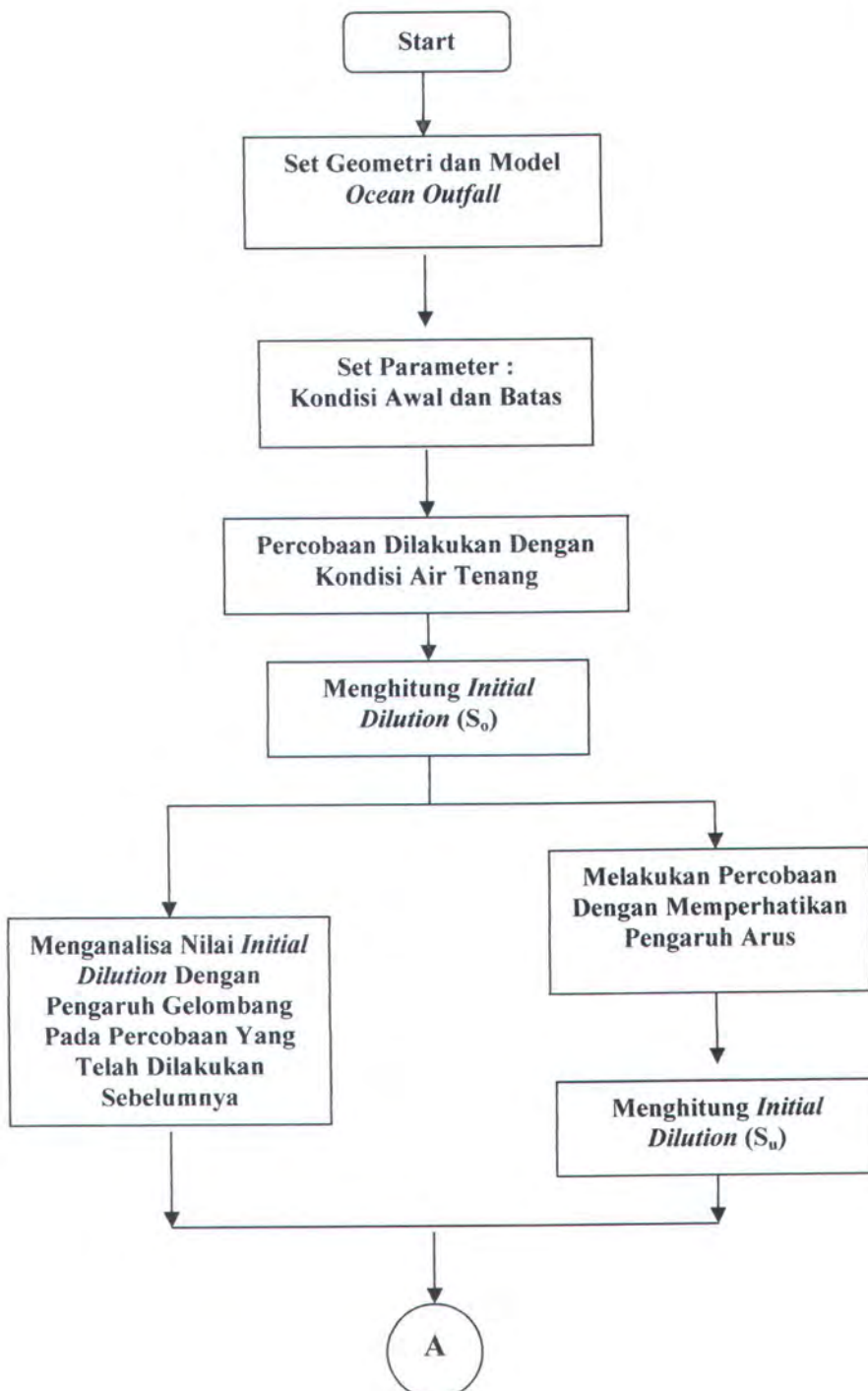
METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Umum

Prosedur penelitian secara umum digambarkan dalam flowchart sebagai berikut :





Gambar 3.1 Flowchart Prosedur Penelitian

Dari *flowchart* dapat dijelaskan rencana tahap-tahap prosedur penelitian adalah sebagai berikut :

1. Set geometri dan model *ocean outfall* pada air tenang.

Pada percobaan ini menggunakan jenis *outfall submerged single port discharge* pada kondisi air yang tenang tanpa arus dan gelombang, dimana datanya adalah:

a. Data awal dari *outfall* :

- Diameter *port/nozzle* = 2.6 mm
- Ketinggian dari dasar *flume tank* = 76 cm

b. Data lingkungan :

- Kedalaman air = 90 cm
- Kecepatan angin = 0 cm/s

2. Set parameter kondisi awal dan batas (*boundary condition*).

Pada sistem *ocean outfall* jenis *buoyant jet*, beberapa persyaratan harus dipenuhi agar pada proses pelepasan, pengaruh momentum aliran dan gaya *buoyancy* fluida memiliki pengaruh terhadap penyebaran.

$$L_M \gg L_Q$$

$$H \gg L_M$$

3. Percobaan dilakukan dengan kondisi air tenang.

Setelah parameter diperoleh maka dimulai *runing* percobaan dengan mengatur kecepatan effluen sesuai dengan kondisi perairan tenang.

4. Menghitung *initial dilution* (S_0).

Dari data perbedaan temperatur yang diperoleh dari percobaan, kemudian dihitung nilai dari *initial dilution* (S_0) dengan kondisi perairan tenang.

5. Menganalisa nilai *initial dilution* dengan pengaruh gelombang pada percobaan yang telah dilakukan sebelumnya.

Data nilai *initial dilution* pada percobaan sebelumnya dianalisa agar diperoleh seberapa besar peningkatan nilai dilusi yang terjadi akibat pengaruh gelombang.

6. Melakukan percobaan dengan memperhatikan pengaruh arus.

Percobaan dilakukan kembali sesuai dengan percobaan kondisi air tenang dan menambahkan pengaruh arus.

7. Menghitung *initial dilution* (S_u).

Dari data perbedaan temperatur yang diperoleh dari percobaan, kemudian dihitung nilai dari *initial dilution* (S_u) dengan memperhatikan pengaruh arus.

8. Memodelkan pola kenaikan nilai dilusi terhadap pengaruh arus dan pengaruh gelombang.

Peningkatan nilai dilusi yang terjadi kemudian dipolakan agar diperoleh suatu persamaan yang menyatakan peningkatan nilai dilusi akibat pengaruh gelombang dan pengaruh dari arus.

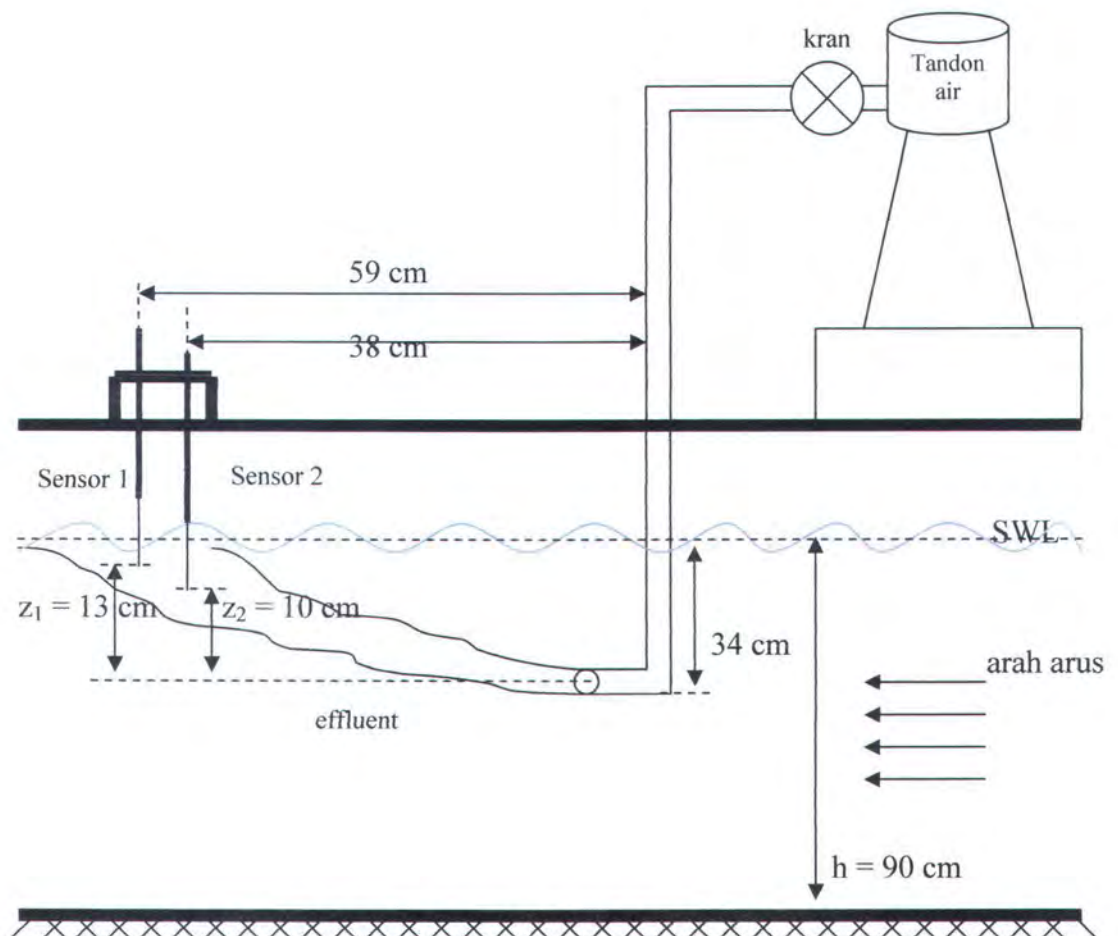
9. Kesimpulan

Dari hasil analisa data yang diperoleh pada percobaan yang telah dilakukan, maka akan dibuat suatu kesimpulan tentang pengaruh dari arus dan pengaruh dari gelombang terhadap nilai dilusi pada pemodelan fisik *ocean outfall*.

10. Menyusun laporan

Semua kegiatan yang dilakukan dalam percobaan dan hasil yang diperoleh akan ditulis dalam laporan sebagai laporan tugas akhir.

Skema percobaan digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.2 Skema Percobaan

Polutan limbah panas (*thermal discharge*) diinjeksikan pada air yang tenang dan bergerak (akibat arus dan gelombang) menggunakan jenis *ocean outfall* yaitu *single port*. Polutan dimodelkan dari *fresh water* dengan temperatur yang lebih

tinggi daripada temperatur *ambient* yang dikeluarkan melalui pipa serta melewati *nozzle*. Percobaan untuk memodelkan secara fisik polutan limbah panas ini dilakukan di *flume tank* yang berukuran 20,3 m x 2,5 m x 2,3 m yang telah dilengkapi dengan *current generator* untuk menggerakkan arus lemah dengan range kecepatan 0,22 – 3,36 cm/s. Kedalaman air *ambient* (H) = 90 cm untuk semua percobaan dengan tujuan membiarkan *plume* mengalami kenaikan (rising) dengan bebas sehingga terjadi pencampuran antara *effluent* dan *ambient*.

Pemodelan polutan ini dilakukan menggunakan transducer temperatur yaitu termokopel yang dilengkapi dengan sensor pendeteksi panas fluida dengan tingkat akurasi pembacaan 0,1 °C, sehingga besarnya *initial dilution* pada daerah *centerline discharge* dapat dihitung.

3.2 Tempat dan Waktu Percobaan

Percobaan dilakukan di Laboratorium Lingkungan dan Energi Laut, Jurusan Teknik Kelautan pada bulan Maret – April 2006.

3.3 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah :

1. Flume tank yang berukuran 20.3 m x 2.5 m x 2.3 m dengan material dinding samping yang terbuat dari *toughened glass* dan *mild steel* (SS400) serta lantai dan dinding akhir yang juga terbuat dari *mild steel* (SS400).

Spesifikasi lebih lengkap sebagai berikut :

a. Material

- Dinding samping = *Toughened glass* dan *Mild steel* (SS400)
- Lantai dan dinding akhir = *Mild steel* (SS400)

b. Dimensi

- Badan utuh :
 - Panjang = 20,300 m
 - Lebar = 2,300 m
 - Tinggi = 2,500 m

- Bagian untuk pengukuran :
 - Panjang = 10,000 m
 - Lebar = 2,000 m
 - Tinggi = 1,500 m
 - Kedalaman air = 0,400 m

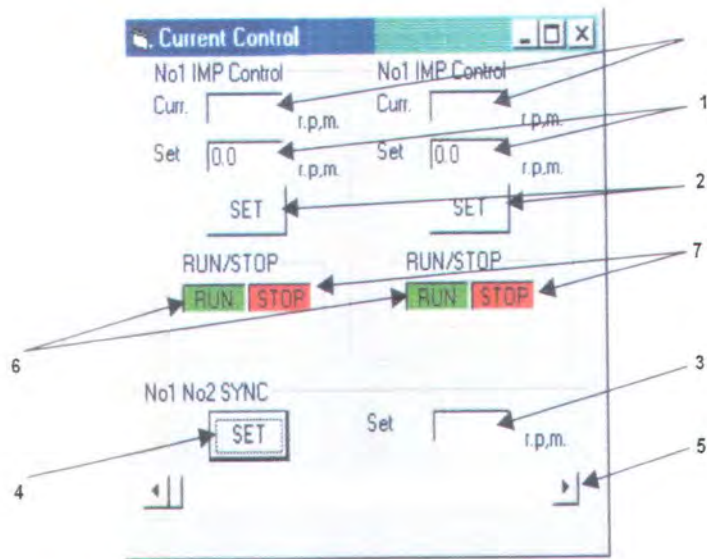
c. Jendela Observasi

- Panjang = 1,700 m
- Tinggi = 1,344 m
- Jumlah = 7 buah
- Material = *Toughned glass*

2. *Wave generator* dan *current generator* yang dapat digunakan secara bergantian. Untuk membangkitkan gelombang atau arus, *wave generator* atau *current generator* dihubungkan dengan *control panel* dan diolah melalui komputer yang telah terintegrasi secara *interface*.



Gambar 3.3 Komputer Kontrol



Gambar 3.4 *Current generator control program*

Keterangan :

1. *Setting R.P.M input column*
 2. *Change condition command button*
 3. *Synchronize R.P.M input column*
 4. *Synchronize condition change command button*
 5. *Synchronize R.P.M input slide bar*
 6. *Run command button*
 7. *Stop command button*
-
3. Pipa PVC dengan ukuran diameter 1 cm, dan panjang ± 20 m.
 4. *Nozzle* dengan diameter 2.6 mm yang diletakkan di tengah *flume tank*.
 5. Sensor panas, seperti termometer dan termokopel dengan ketelitian mencapai 0.1°C dengan pembacaan sistem digital.
 6. Pemanas listrik (*heater*).
 7. Larutan pewarna yang digunakan sebagai *effluent*.

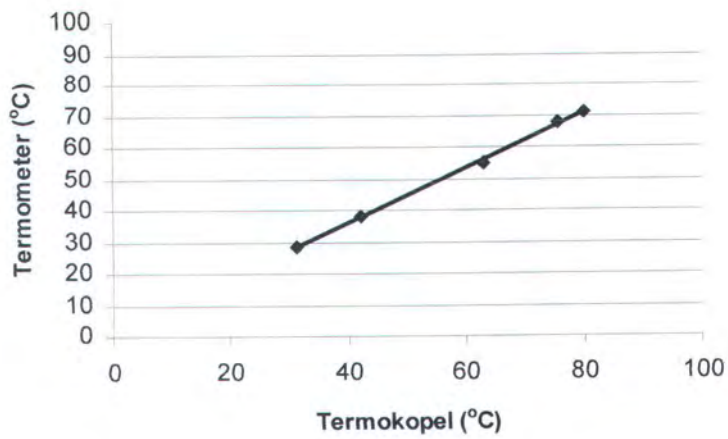
3.4 Prosedur Percobaan

Berikut ini adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan percobaan :

1. Mengisi *flume tank* dengan air tawar hingga kedalaman 90 cm.
2. Memasang *nozzle* berdiameter 2.6 mm secara vertikal ditengah-tengah *flume tank* dengan kedalaman 34 cm dari permukaan air.
3. Memasang termokopel dengan jarak tertentu dari *nozzle* dan kedalaman tertentu dari permukaan air sehingga berada di daerah *centerline* dari penyebaran *effluent*.
4. Effluen yang telah dipanasi dengan pemanas listrik dialirkan melalui pipa PVC sehingga air keluar melalui *nozzle* dengan suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu *ambient*.
5. Mencatat temperatur yang ditampilkan oleh alat sensor panas *termocouple* saat terjadi dilusi.
6. Melakukan kembali percobaan diatas dengan menambahkan pengaruh arus terhadap penyebaran *effluent*.
7. Menganalisa data dan membandingkan nilai dilusi akibat pengaruh gelombang dengan nilai dilusi akibat pengaruh arus.

3.5 Kalibrasi Peralatan (Termokopel)

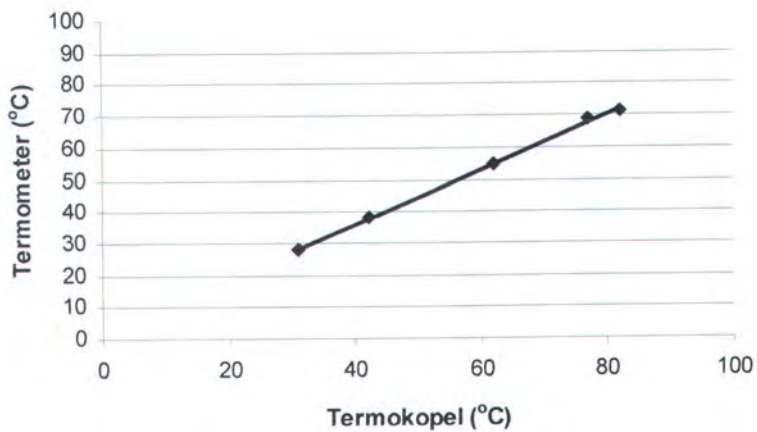
Untuk mendapatkan keseksamaan dan keseragaman dalam pengambilan data percobaan, perlu dilakukan kalibrasi atau pencocokan skala pembacaan alat ukur yang digunakan yaitu termokopel.



Gambar 3.5 Kurva Kalibrasi Untuk $z = 13$ cm

Dari Gambar 3.5 dapat diberikan suatu persamaan yang mewakili perbedaan pembacaan alat ukur yang digunakan, yaitu :

$$y = 0.8698x + 1.4517 \quad (3.1)$$



Gambar 3.6 Kurva Kalibrasi Untuk $z = 10$ cm

Dari Gambar 3.6 juga dapat dibentuk persamaan yang mewakili perbedaan pembacaan alat ukur

$$y = 0.8591x + 1.7105 \quad (3.2)$$

Kalibrasi termokopel dilakukan dengan cara membandingkan besarnya suhu yang ditampilkan oleh termokopel dengan yang dibaca oleh termometer, untuk mengetahui perbedaan nilai yang terbaca oleh masing-masing alat ukur tersebut. Termokopel yang digunakan memiliki 2 sensor, dan pengkalibrasian dilakukan untuk masing-masing sensor.

Hasil pengukuran temperatur dari termokopel kemudian dimasukkan dalam persamaan di atas untuk masing-masing ketinggian (z), agar diperoleh nilai temperatur yang sesuai dengan hasil pengukuran jika dilakukan dengan menggunakan termometer.





BAB IV
ANALISA DATA dan
PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Parameter

Karakteristik di daerah-daerah tertentu diberikan pada tabel berikut :

Tabel 4.1 Karakteristik *Discharge* di Daerah Tertentu

Parameters	Region					
	Bass Strait	Gulf of Mexico	North Sea	Terra Nova	Java Sea	
Discharge Rate (m ³ /day)	14000	3978	10000	18300	262,35	1232,25
Q (m ³ /s)	0,16	0,05	0,12	0,21	0,003	0,014
V_o (m/s)	5,09	1,59	0,26	2,87	0,58	2,69
Effluent Temperature (oC)	90	29	30	96	62	90
Effluent Density (kg/m ²)	988	1088	1014	988		
Ambient Density (kg/m ³)	1025	1017	1027	1025		
Density Gradient (kg/m ⁴)	0	0,15	0			
Port Diameter (m)	0,2	0,2	0,76	0,305	2" x 4"	
Area (m ²)					0,0052	
Depth of Discharge (m)	12	0,3	5	10	3	7,5
Sea Water Depth (m)	72	27	150	80	21,3	30,5
Sea Water Speed (m/s)	0,3	0,03 to 0,25	0,3	0,14	3,17E-10	0,23
M (m ³ /s ²)	0,82	0,08	0,03	0,60	1,73E-03	0,0377
u_d/u_j	3,7	1,3	0,4	0,6		
l_M (m)	3,6	0,7	0,6	2,5		
l_b (m)	2,2	2 to 1168	0,5	27,3		
l_m (m)	3,05	1 to 8,7	0,57	5,6		
l_Q (m)	0,177	0,177	0,673	0,27	0,07	
z (m)	12	27	5	10		
Z_M	3,01	2,17 6,28	0,59	5,55	13,13E+07	0,83
l_M/l_b	1,653	0,001 to 0,37 0,0002 to 0,088	1,117	0,093		
l_Q/l_b	0,081		1,265	0,01		
l_m/l_b	1,398	0,007 to 0,5	1,076	0,205		
z/l_b	5,503	0,23 to 13,4	9,393	0,366		
L_Q/Z_M	0,0588084	0,08 0,03	1,13	0,05	5,49E-09	1,22

Data di atas diperoleh dari beberapa sumber dan diringkas dalam bentuk tabel oleh Mukhtasor (2001) dengan beberapa penambahan agar diperoleh parameter-parameter lain yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Data karakteristik pada Tabel 4.1 merupakan hasil dari percobaan yang telah dilakukan sebelumnya, parameter yang belum diperoleh diasumsikan berdasarkan lingkungan atau hasil pengamatan di lapangan.

Sedangkan data untuk percobaan diberikan dalam tabel berikut :

Tabel 4.2 Karakteristik Percobaan di Laboratorium

Parameter	Nilai		Satuan
discharge rate (Q)	0,79599		cm ³ /s
kecepatan aliran (Vo)	15		cm/s
kedalaman air (h)	90		cm
luas permukaan port (A)	0,053066		cm ²
depth of discharge	13,0		cm
	10,0		cm
M	11,9		cm ⁴ /s ²
B	13,75		cm ⁴ /s ³
L _M	1,7		cm
L _Q	0,2		cm
z/L _M	7,505011986		
	5,773086143		
L _M /L _Q	7,51941035		
u	0,22	3,36	cm/s

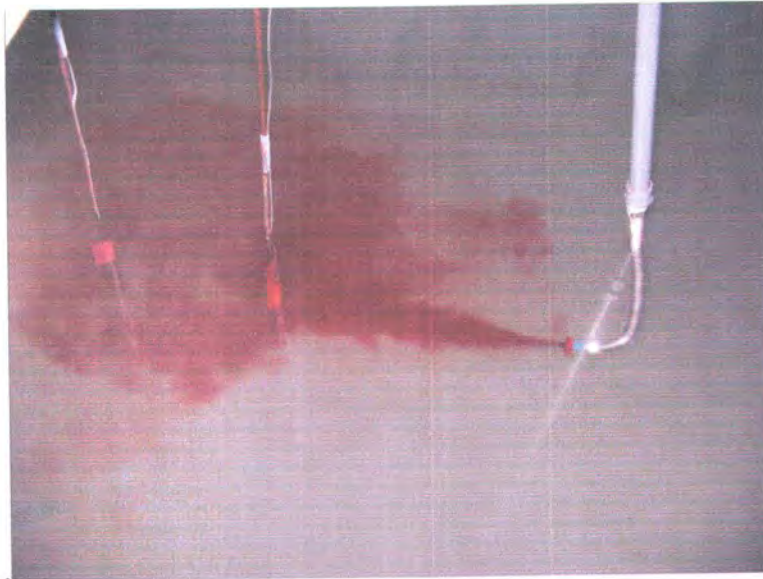
Dari tabel di atas terlihat bahwa karakteristik dari percobaan yang dilakukan mendekati karakteristik *discharge* di daerah laut Jawa dengan beberapa modifikasi.

4.2 Kalibrasi Percobaan

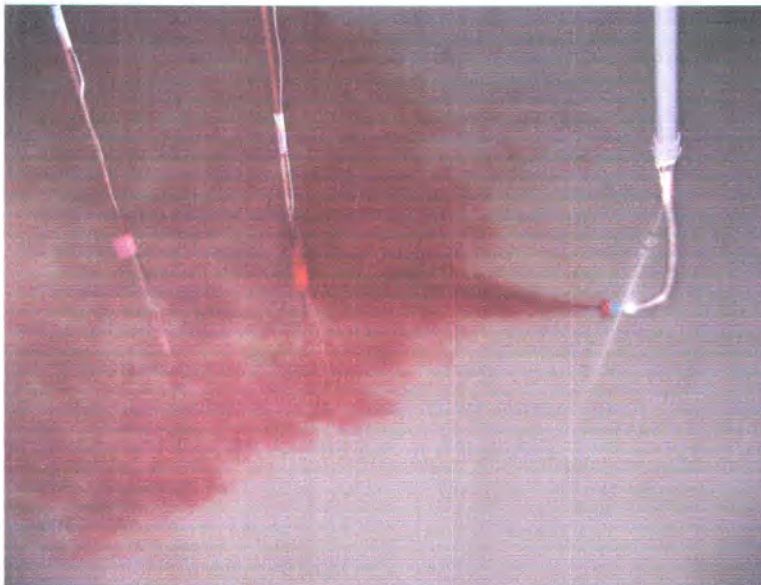
Beberapa percobaan pernah dilakukan untuk memperoleh nilai dilusi di perairan tenang seperti yang dilakukan oleh Abraham (1963) dan Cederwall (1968), pada penelitiannya mereka menghasilkan nilai dilusi yang disajikan dalam bentuk yang berbeda. Hasil percobaan Abraham (1963) diberikan dalam bentuk grafik yang menunjukkan nilai dilusi akibat pengaruh geometri *port* dan kedalaman *discharge*, sedangkan hasil percobaan Cederwall (1968) diberikan dalam bentuk formula yang menyatakan nilai dilusi akibat pengaruh yang sama.

Kalibrasi percobaan dilakukan berdasarkan data parameter penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan cara membandingkan hasil percobaan dan penelitian yang telah dilakukan. Tahapan ini dilakukan untuk menyesuaikan parameter yang digunakan dalam permodelan dengan kondisi sebenarnya.

Percobaan kali ini dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Abraham (1963). Pada penelitiannya, Abraham (1963) melakukan pengukuran nilai dilusi pada perairan tenang di daerah *centerline* penyebaran *effluent* dengan memperhatikan pengaruh perbandingan kedalaman *discharge* dengan diameter serta pengaruh perbandingan kecepatan aliran dengan *specific gravity* dan diameter.



Gambar 4.1 Percobaan di Air Tenang



Gambar 4.2 Penyebaran *Effluent* di Perairan Tenang

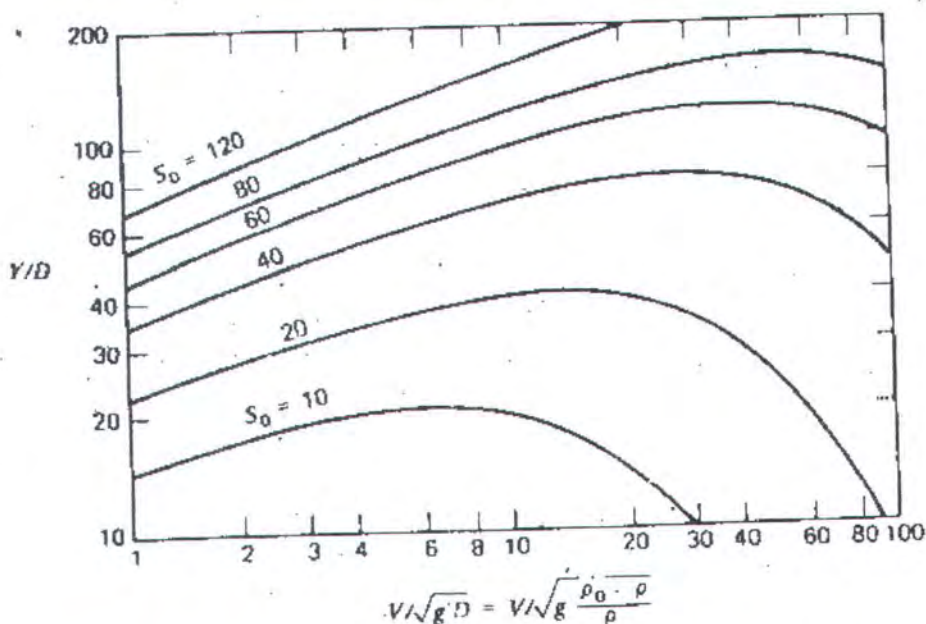
Data hasil percobaan untuk kalibrasi diberikan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Data Percobaan Untuk Kalibrasi

exp	h (cm)	Q (cm ³ /s)	D (cm)	to (°C)	teff (°C)	t (°C)		So		Selisih (%)	
						z/D = 50	z/D = 38,46	z/D = 50	z/D = 38,46	z/D = 50	z/D = 38,46
1	90	0,770	0,26	28	70	29,4	30,0	30,10	21,30	5,3	4,8
2	90	0,770	0,26	29,1	68	30,4	31,0	28,82	20,50	0,8	0,9
3	90	0,770	0,26	29,9	67	31,2	31,8	28,00	19,80	2,0	2,5
4	90	0,770	0,26	29,8	68	31,1	31,7	28,45	20,10	0,5	1,1
5	90	0,770	0,26	30	69	31,4	31,9	28,73	20,60	0,5	1,4
6	90	0,770	0,26	29,6	69,5	31,0	31,5	28,82	20,90	0,8	2,9
7	90	0,770	0,26	30,1	70	31,5	32,0	28,82	21,00	0,8	3,4
8	90	0,770	0,26	29,8	69,7	31,2	31,7	28,20	20,90	1,4	2,9
9	90	0,770	0,26	29,6	70	31,0	31,5	29,00	21,10	1,4	3,8
10	90	0,770	0,26	30,1	68,2	31,5	32,0	27,70	20,00	3,1	1,6
11	90	0,770	0,26	30,2	68,8	31,6	32,1	28,00	20,20	2,0	0,6
12	90	0,770	0,26	30,5	68	31,8	32,4	27,90	19,90	2,4	2,1
13	90	0,770	0,26	30,9	67	32,3	32,8	26,00	19,34	9,0	4,8
14	90	0,770	0,26	30,5	67	31,9	32,4	26,20	19,20	8,3	5,5
15	90	0,770	0,26	30,3	68	31,7	32,2	26,80	19,34	6,2	4,8
16	90	0,770	0,26	30	67,7	31,4	31,9	26,80	19,60	6,2	3,5
17	90	0,770	0,26	29,7	69	31,1	31,6	28,30	20,60	1,0	1,4
18	90	0,770	0,26	29,8	70,5	31,2	31,7	29,20	20,95	2,1	3,1
19	90	0,770	0,26	30	70	31,4	31,9	28,60	20,70	0,05	1,9
20	90	0,770	0,26	30	69	31,4	32,0	28,20	20,00	1,4	1,6

Nilai perbandingan kedalaman *discharge* dengan diameter dari percobaan di atas adalah 50 dan 38.46 dengan nilai rata-rata dari g' diperoleh nilai perbandingan kecepatan aliran dengan *specific gravity* dan diameter sebesar 7.08, dengan menggunakan nilai-nilai tersebut diperoleh nilai dilusi rata-rata sebesar 28.13 untuk perbandingan kedalaman *discharge* dengan diameter = 50 dan 20.3 untuk perbandingan kedalaman *discharge* dengan diameter = 38.46.

Nilai di atas kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian Abraham (1963) yang diberikan dalam Gambar 4.3



Gambar 4.3 Nilai Dilusi Pada Perairan Tenang (Abraham, 1963)

Dari perbandingan di atas diperoleh nilai dilusi hasil percobaan memiliki nilai yang mendekati nilai dilusi dari penelitian Abraham (1963), tetapi perbedaan hasil percobaan yang dilakukan tidak terlihat jelas karena hasil percobaan diplot ke dalam grafik sehingga selisih hasil percobaan kali ini dengan percobaan sebelumnya tidak dapat diketahui secara pasti. Oleh karena itu perbandingan

percobaan dilakukan dengan membandingkan hasil percobaan yang telah dilakukan dengan hasil percobaan yang lain.

Hasil percobaan di atas kemudian dibandingkan lagi dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Cederwall (1968), dimana hasil percobaan yang diperoleh akan dibandingkan nilai dilusi dengan menggunakan formula berikut:

$$S_0 = 0.54F^{9/16} \left(\frac{Y}{D} \right)^{7/16} \quad (4.1)$$

untuk $\left(\frac{Y}{D} \right) < 0.5F$

$$S_0 = 0.54F \left(0.38 \frac{\left(\frac{Y}{D} \right)}{F} + 0.66 \right)^{5/3} \quad (4.2)$$

untuk $\left(\frac{Y}{D} \right) > 0.5F$

Persamaan yang digunakan adalah persamaan (4.2) karena memenuhi syarat batas yang ditentukan. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai S_0 yang menunjukkan adanya kesesuaian antara hasil percobaan di laboratorium dengan hasil perhitungan dengan formula dari hasil percobaan sebelumnya sehingga model yang telah dibuat dapat digunakan untuk melakukan percobaan selanjutnya dengan modifikasi yaitu menambahkan pengaruh arus dan pengaruh gelombang pada proses *initial dilution*.

Perbandingan nilai S_0 antara hasil percobaan dengan perhitungan menggunakan persamaan hasil percobaan sebelumnya diberikan dalam Tabel 4.4.

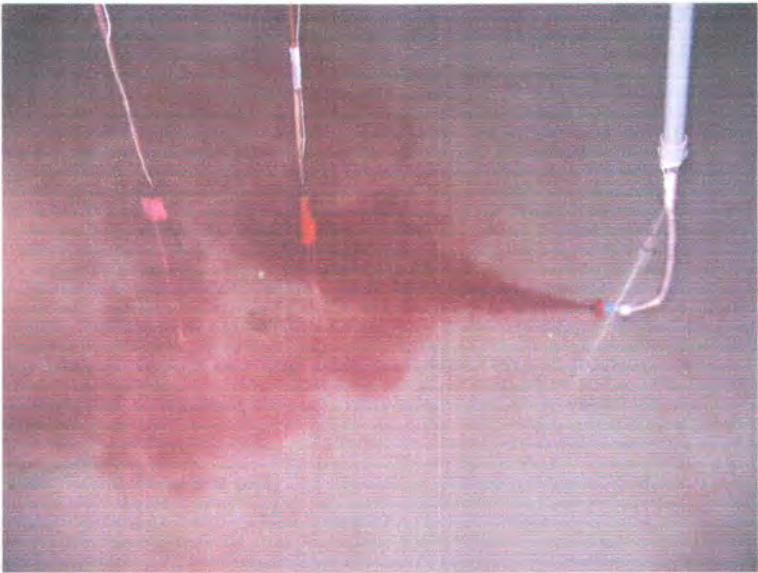
Tabel 4.4 Perbandingan Nilai S_0

Nilai S_0			
$z/D = 50$		$z/D = 38,46$	
Persamaan Cederwall	Percobaan (nilai rata-rata)	Persamaan Cederwall	Percobaan (nilai rata-rata)
28,586	28,132	20,318	20,301

4.3 Hasil Pemodelan *Initial Dilution* di Laboratorium

Pengukuran *initial dilution* dengan pengaruh gelombang dilakukan sama seperti pengukuran *initial dilution* pada perairan tenang, hanya saja pengaruh dari gelombang lebih diperhatikan dalam percobaan. Demikian juga dengan pengukuran *initial dilution* dengan pengaruh arus, dalam percobaan pengaruh arus lebih diperhatikan. Pengukuran temperatur dilakukan pada titik-titik *centerline* dari lintasan polutan.

4.3.1 Pengaruh Arus



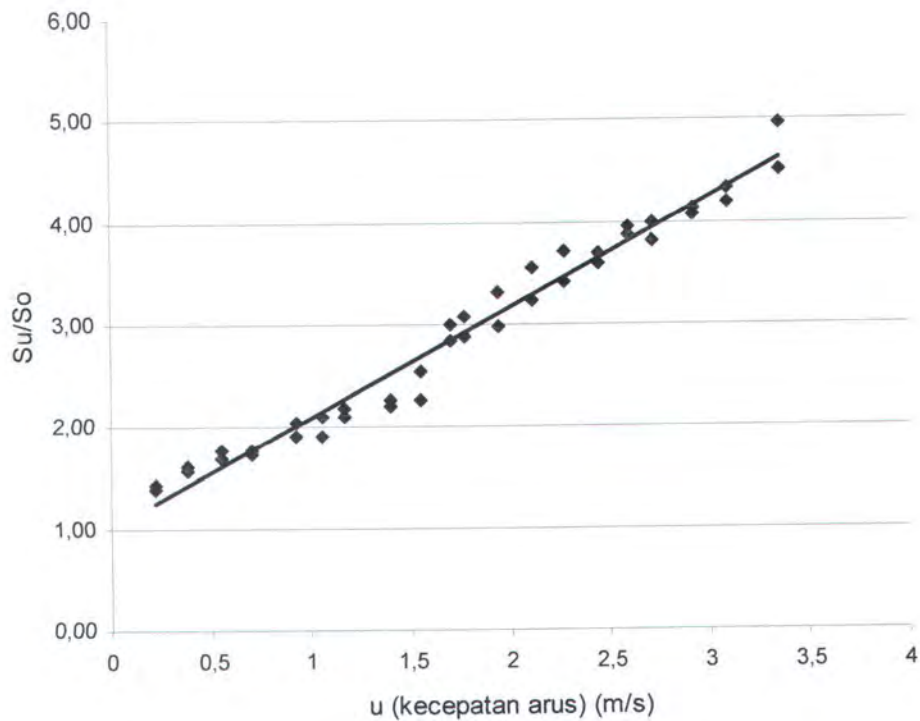
Gambar 4.4 Penyebaran *Effluent* Dengan Pengaruh Arus

Nilai dilusi akibat pengaruh arus diberikan dalam Tabel 4.5

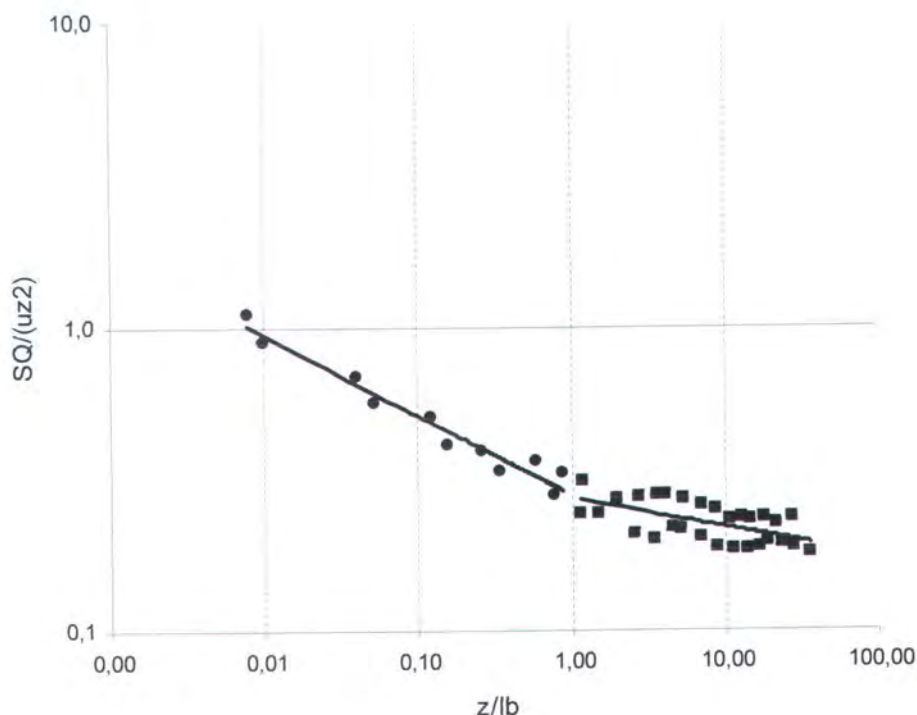
Tabel 4.5 Hasil Percobaan Dengan Pengaruh Arus

exp	H (cm)	h (cm)	Q (cm ³ /s)	D (cm)	ua cm/s	to (°C)	t (eff) (°C)	t (°C)	Su Percobaan	persentase peningkatan
								Z/lb = 0,008 - 35,863	Z/lb = 0,008 - 35,863	Z/lb = 0,008 - 35,863
1	34	90	0,770	0,26	0,22	31,5	69,0	32,4	41,6	38,3
								32,7	30,4	42,6
2	34	90	0,770	0,26	0,38	31,4	68,0	32,2	45,3	57,2
								32,5	33,0	61,1
3	34	90	0,770	0,26	0,55	31,5	67,0	32,2	47,4	69,2
								32,5	34,9	76,1
4	34	90	0,770	0,26	0,71	31,9	67,5	32,6	50,4	77,2
								32,9	34,6	72,3
5	34	90	0,770	0,26	0,93	32,0	67,0	32,6	54,8	90,6
								32,8	42,2	104,9
6	34	90	0,770	0,26	1,06	31,9	68,0	32,6	54,9	90,6
								32,7	43,9	109,8
7	34	90	0,770	0,26	1,17	32,0	68,5	32,6	60,7	110,6
								32,8	45,7	117,8
8	34	90	0,770	0,26	1,4	31,8	68,5	32,4	61,9	119,7
								32,6	47,2	125,9
9	34	90	0,770	0,26	1,55	31,9	69,0	32,5	65,5	126,0
								32,6	53,5	153,7
10	34	90	0,770	0,26	1,7	31,8	70,0	32,3	78,5	183,5
								32,4	59,9	199,6
11	34	90	0,770	0,26	1,77	32,1	69,5	32,6	80,8	188,5
								32,7	62,3	208,4
12	34	90	0,770	0,26	1,94	32,0	70,0	32,5	83,4	198,9
								32,6	66,1	232,4
13	34	90	0,770	0,26	2,12	32,0	70,5	32,5	84,2	223,7
								32,6	68,8	255,5
14	34	90	0,770	0,26	2,28	32,1	72,0	32,5	89,3	240,8
								32,7	71,3	271,2
15	34	90	0,770	0,26	2,45	32,1	73,0	32,5	96,2	258,9
								32,7	71,7	270,5
16	34	90	0,770	0,26	2,6	32,2	71,0	32,6	104,1	288,3
								32,7	77,5	295,5
17	34	90	0,770	0,26	2,72	32,3	71,0	32,6	113,2	300,0
								32,8	78,7	282,0
18	34	90	0,770	0,26	2,92	32,3	70,0	32,6	118,8	307,0
								32,7	86,5	312,9
19	34	90	0,770	0,26	3,09	32,0	69,1	32,3	123,6	332,2
								32,4	86,9	319,9
20	34	90	0,770	0,26	3,36	32,1	69,0	32,4	127,3	351,4
								32,5	99,3	396,4

Hasil percobaan di atas juga menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai dilusi akibat pengaruh arus, tetapi peningkatan yang terjadi lebih besar dari percobaan yang dilakukan dengan pengaruh gelombang. Besarnya peningkatan yang terjadi ditunjukkan dalam grafik perbandingan antara S/S_0 terhadap kecepatan arus dan perbandingan antara peningkatan nilai dilusi terhadap parameter dalam percobaan dengan faktor arus. Hasil percobaan diberikan sebagai berikut :



Gambar 4.5 Pengaruh u Terhadap Nilai S_u/S_0 pada $z/l_b = 0.008 - 35.863$



Gambar 4.6 Hasil Percobaan Untuk $z/l_b = 0.008 - 35.863$

Gambar 4.5 di atas menunjukkan bahwa peningkatan nilai dilusi yang terjadi lebih besar dari peningkatan nilai dilusi yang diakibatkan oleh pengaruh gelombang, ini diakibatkan karena kecepatan gelombang bekerja pada seluruh daerah di bawah permukaan air dengan kecepatan yang hampir sama. Hubungan fungsional yang dapat dituliskan ditunjukkan pada Gambar 4.6 dimana grafik tersebut menunjukkan pengaruh faktor arus dan geometri dari sistem *ocean outfall* terhadap nilai dilusi. Hubungan fungsional dari pengaruh arus terhadap peningkatan nilai dilusi dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{SQ}{(uz^2)} = 0.2788 \left(\frac{z}{l_b} \right)^{-0.2629} \quad (4.3)$$

(untuk BDNF pada $z/l_b = 0.008 - 1.000$)

dengan nilai R^2 sebesar 0.9579.

$$\frac{SQ}{(uz^2)} = 0.2727 \left(\frac{z}{l_b} \right)^{-0.0947} \quad (4.4)$$

(untuk BDFD pada $z/l_b = 1.000 - 35.863$)

dengan nilai R^2 sebesar 0.3695.

Pada percobaan dengan memperhatikan pengaruh arus tampak bahwa nilai dilusi terus meningkat dan berbanding lurus dengan peningkatan kecepatan arus, karena pada percobaan ini menggunakan arus dengan kecepatan kecil maka peningkatan yang terjadi relatif kecil.

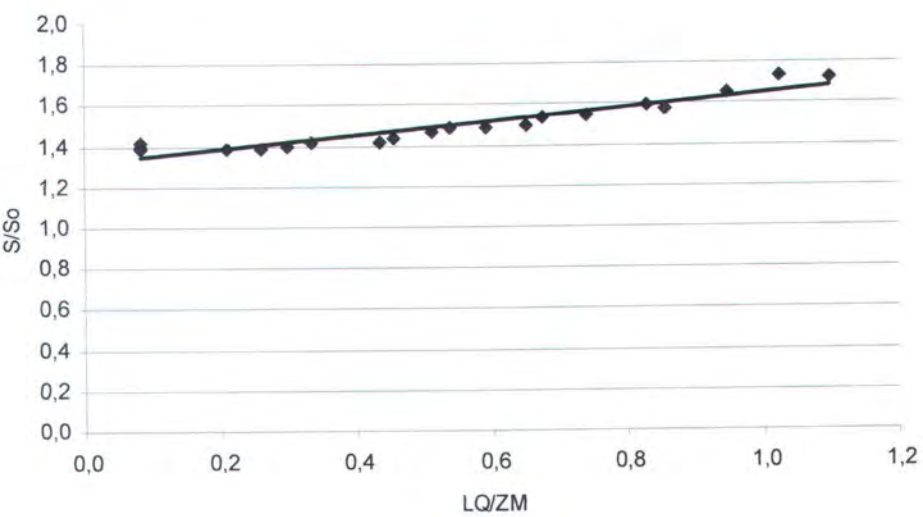
4.3.2 Pengaruh Gelombang

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan oleh Irwanto (2006) yang memperhatikan pengaruh gelombang dalam penguraian *effluent* dan percobaan kali ini pada perairan tenang, diperoleh perbandingan nilai dilusi yang diberikan dalam Tabel 4.6 sebagai berikut :

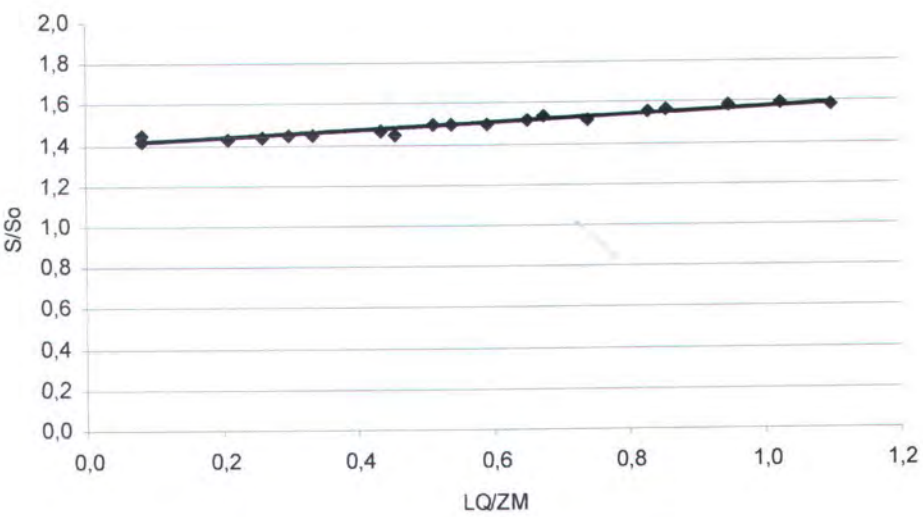
Tabel 4.6 Perbandingan Nilai Dilusi

exp	Z_M/L_Q	S/So		persentase peningkatan	
		$z/L_M = 7,5$	$z/L_M = 5,7$	$z/L_M = 7,5$	$z/L_M = 5,7$
1	2,190	1,435	1,444	43,5	44,4
2	3,357	1,398	1,449	39,8	44,9
3	12,086	1,389	1,419	38,9	41,9
4	2,292	1,417	1,466	41,7	46,6
5	1,948	1,462	1,499	46,2	49,9
6	1,853	1,482	1,494	48,2	49,4
7	1,691	1,482	1,495	48,2	49,5
8	1,531	1,496	1,511	49,6	51,1
9	1,349	1,540	1,516	54,0	51,6
10	1,168	1,574	1,562	57,4	56,2
11	0,909	1,718	1,584	71,8	58,4
12	1,483	1,537	1,530	53,7	53,0
13	1,204	1,590	1,556	59,0	55,6
14	0,976	1,729	1,597	72,9	59,7
15	1,056	1,652	1,583	65,2	58,3
16	12,086	1,416	1,414	41,6	41,4
17	2,992	1,413	1,447	41,3	44,7
18	3,830	1,387	1,433	38,7	43,3
19	4,763	1,388	1,430	38,8	43,0
20	12,086	1,393	1,445	39,3	44,5

Hasil percobaan di atas menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai dilusi akibat pengaruh gelombang, besarnya peningkatan yang terjadi berbanding lurus dengan peningkatan nilai L_Q/Z_M seperti yang ditunjukkan dalam grafik hasil dari percobaan yang telah dilakukan :



Gambar 4.7 Hasil Percobaan Untuk $z/L_M = 7.5$



Gambar 4.8 Hasil Percobaan Untuk $z/L_M = 5.7$

Tabel 4.7 Data Lingkungan di Jawa Barat dan Jawa Timur

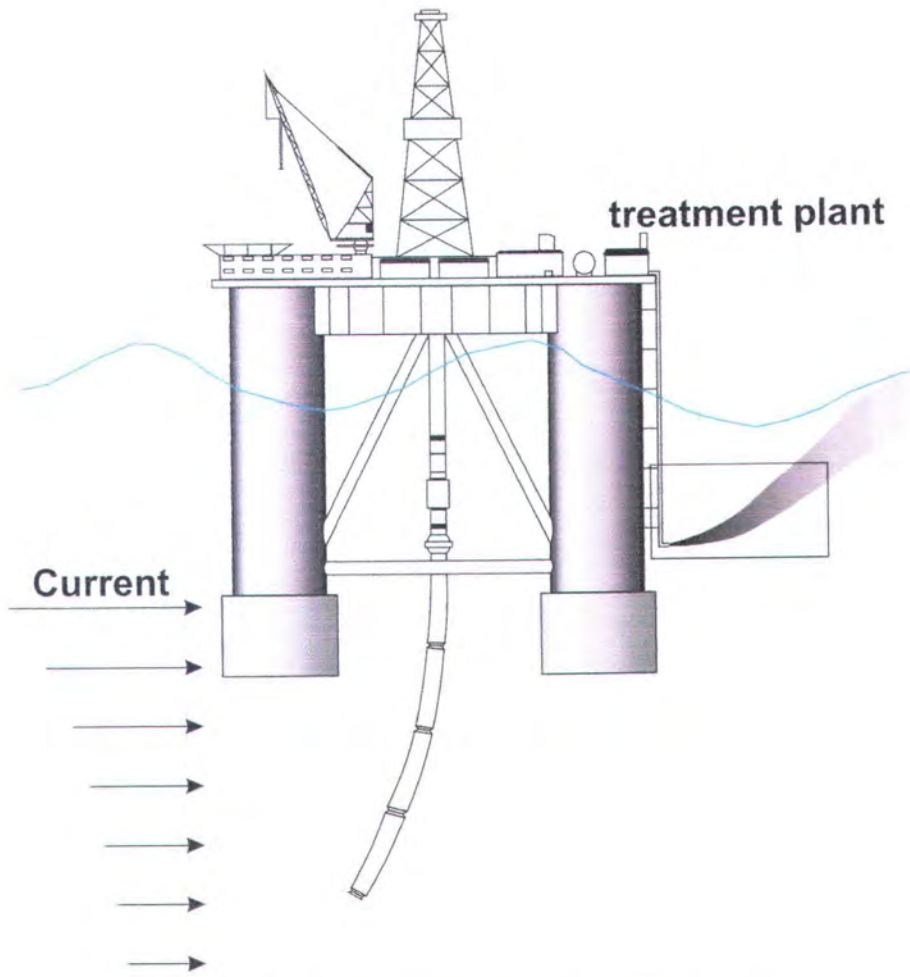
Parameter	Jawa Barat	Jawa Timur	Satuan
Kedalaman	30	30	m
Tinggi gelombang			
minimum	0,2	0,2	m
maksimum	4,9	4,3	m
ekstrim	7,9	6,5	m
Periode gelombang			
minimum	1,6	1,5	detik
maksimum	7,1	6,2	detik
ekstrim	9,3	8,1	detik
Kecepatan arus			
minimum	0,14	0,15	m/s
maksimum	0,34	0,36	m/s
ekstrim	0,4	0,51	m/s

Sedangkan data sistem *ocean outfall* yang digunakan ditunjukkan dalam Tabel 4.8, dimana data ini merupakan karakteristik *discharge* di Laut Jawa ditambahkan dengan data lingkungan pada Tabel 4.7.

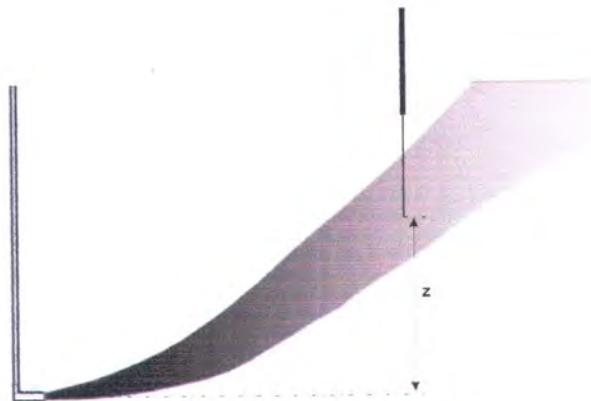
Tabel 4.8 Karakteristik *Discharge* di Laut Jawa

Parameters	Java Sea
Discharge Rate (m3/day)	1232,25
$Q(m^3/s)$	0,014
$Vo(m/s)$	2,69
Effluent Temperature (oC)	90
Effluent Density (kg/m2)	970
Ambient Density (kg/m3)	1028
Port Diameter (m)	2" x 4"
Area (m2)	0,0052
Depth of Discharge (m)	15
Sea Water Depth (m)	30
$M (m^3/s^2)$	0,037
$l_m (m)$	0,94
$l_a (m)$	0,07
$z (m)$	7,1

Dari data di atas kemudian dihitung skala panjang yang akan digunakan sesuai dengan data lingkungan yang ada untuk menghitung besarnya nilai dilusi yang terjadi dengan menggunakan persamaan yang diperoleh dari hasil analisa data pada percobaan ini. Skala panjang diberikan dalam Tabel 4.9.



Gambar 4.9 *Ocean Outfall* Pada Semisubmersibel



Gambar 4.10 Pengukuran Suhu *Effluent*

Tabel 4.9 Skala Panjang

Parameters		Region	
		Jawa Barat	Jawa Timur
l_b (m)	arus min	2,993	2,433
	arus max	0,209	0,176
	arus ext	0,128	0,0619
l_m (m)	arus min	1,39	1,29
	arus max	0,57	0,54
	arus ext	0,49	0,38
Z_M	glb min	0,000003	0,0000006
	glb max	0,73	1,50
	glb ext	0,19	0,32
l_w/l_b	arus min	0,315	0,39
	arus max	4,52	5,36
	arus ext	7,36	15,25
l_q/l_b	arus min	0,0241	0,030
	arus max	0,35	0,41
	arus ext	0,56	1,16
l_m/l_b	arus min	0,46	0,53
	arus max	2,73	3,06
	arus ext	3,78	6,15

Data di atas kemudian digunakan untuk menghitung nilai *initial dilution* dengan menggunakan persamaan yang diperoleh dari hasil percobaan.

Tabel 4.10 Nilai Dilusi

Initial Dilution		Region	
		Jawa Barat	Jawa Timur
S	So	113,91	
	glb max	154,09	152,23
	glb ext	164,58	158,78
Su	arus min	126,6	133,1
	arus max	239,1	249,1

Nilai dilusi untuk gelombang minimum tidak dapat digunakan karena nilai z/L_M tidak memenuhi batasan dari persamaan yang dihasilkan dari percobaan. Demikian juga dengan nilai dilusi untuk arus ekstrim, karena nilai z/l_b tidak masuk dalam range persamaan yang dihasilkan dari percobaan.

Dari hasil diatas terlihat bahwa untuk kondisi lingkungan (tinggi dan periode gelombang serta kecepatan arus) maksimum dan ekstrim, nilai dilusi akibat pengaruh gelombang lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai dilusi akibat pengaruh arus, namun peningkatan nilai dilusi akibat pengaruh gelombang juga tidak kecil sehingga gelombang tidak bisa diabaikan. Hal ini sesuai dengan hasil percobaan yang diperoleh yaitu pada kondisi gelombang lemah dan arus lemah peningkatan nilai dilusi yang terjadi relatif kecil, sehingga faktor gelombang dan faktor arus perlu sama-sama diperhitungkan dalam menentukan *initial dilution* pada kondisi ini. Sedangkan pada kondisi gelombang yang lebih besar dan arus yang lebih kuat terjadi perbedaan peningkatan nilai dilusi yang cukup besar dimana pengaruh arus memiliki nilai dilusi yang jauh lebih besar, namun peningkatan nilai dilusi akibat pengaruh gelombang juga tidak kecil sehingga gelombang tidak bisa diabaikan dalam perhitungan *initial dilution*.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari percobaan dan analisa perhitungan yang telah dilakukan dalam studi eksperimen perbandingan pengaruh arus dan pengaruh gelombang pada kenaikan nilai dilusi, dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari percobaan di laboratorium pada perairan tenang diperoleh nilai *initial dilution* rata-rata sebesar 28.132 pada kondisi z/D 50 dan untuk kondisi z/D 38.46 didapat nilai *initial dilution* rata-rata sebesar 20.301. Hasil ini menunjukkan terdapat kesesuaian antara percobaan kali ini dengan percobaan dari Abraham (1963) dan Cederwall (1968) dengan perbedaan nilai dilusi yang relatif kecil, sehingga untuk percobaan-percobaan selanjutnya model ini dapat digunakan.
2. Rasio nilai dilusi akibat pengaruh gelombang jika dibandingkan dengan percobaan pada air tenang mempunyai nilai berkisar antara 1.4 sampai 1.7 atau mengalami peningkatan 40% sampai dengan 70% untuk nilai z/L_M 7.5 dan 1.4 sampai 1.59 atau mengalami peningkatan 40% hingga 59% untuk z/L_M 5.7, sedangkan rasio nilai dilusi karena pengaruh arus berkisar antara 1.38 sampai 4.9 atau mengalami peningkatan 38.3% hingga 390% untuk range z/l_b 0.008 hingga 35.863.
3. Terjadi peningkatan nilai dilusi yang terjadi relatif kecil pada kondisi gelombang lemah dan arus lemah, sehingga faktor gelombang dan faktor arus perlu sama-sama diperhitungkan dalam menentukan *initial dilution* pada kondisi ini. Pada kondisi gelombang yang lebih besar dan arus yang lebih kuat terjadi perbedaan peningkatan nilai dilusi yang cukup besar dimana pengaruh arus memiliki nilai dilusi yang jauh lebih besar, namun peningkatan nilai dilusi akibat pengaruh gelombang juga signifikan sehingga gelombang tidak bisa diabaikan dalam perhitungan *initial dilution*.

5.2 Saran

Untuk percobaan berikutnya diharapkan dapat dilakukan percobaan dengan melakukan pengukuran temperatur di permukaan air karena pengaruh lingkungan di permukaan air lebih besar, dan bila perlu ditambahkan pengaruh angin dalam penyebaran *effluent* di permukaan.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, G. 1963. Jet Diffusion in Stagnant Ambient Fluid. **Delft Hydraulics Laboratory Publication 29, July, 183 p.**
- Allen, J.H dan J.J. Sharp. 1987. Environmental consideration for ocean outfalls and land-based treatment plants. **Revised manuscript accepted January 9, 1987.** Memorial University of Newfoundland.
- Cederwall, K. 1968. **Hydraulics of Marine Water Disposal.** Rep. 42, Hydraulics Division, Chlamers Institute of Technology, Goteburg, Sweden.
- Chin, D.A. 1987. Influence of surface wavws on outfall dilution. **J. of Hydraulic Eng. Vol. 113, No. 8, pp.1006 – 1017.**
- Fischer, H.B., List, E. J., Koh, R. C. H., Imberger, J. Dan Brooks, N. H. 1979. **Mixing in inland and Coastal Water.** Academic Press. New York. U.S.A.
- Flemons, K.J dan Mason, C. 1984. Investigation and Design of Sea Outfalls. **Public Health Engineer. 12(2): 95-99.**
- Irwanto, Munif. 2006. “Pengaruh Gelombang Reguler Pada *Initrial Dilution Ocean Outfall* Jenis Buoyant Jet”. **Tugas Akhir S1.** Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Surabaya.
- Lee, J.H.W dan V. Cheung,. 1991. Mixing of buoyancy-dominated jets in a weak current. **Proc. Institute Civil Engineerings, part 2, 1991, march., 113-129.**
- Mukhtasor. 2001. Hydrodynamic Modelling and Ecological Risk-Based Design of Produced Water Discharge From an Offshore Platform. **Thesis submitted May 25, 2001.** Faculty of Engineering and Applied Science Memorial University of Newfoundland.
- Mukhtasor, L.M. Lee, dan J.J. Sharp. 2002. A new approach to modelling initial dilution of buoyancy-dominated jet in moving water. **Journal Environmental Engineering, Sci., vol.1. 2002.**
- Pribadi. 2005. “Pemodelan Dilusi *Outfall* Pada Aliran Arus Lemah Menggunakan Tranducer Temperatur ”. **Tugas Akhir S1.** Fakultas Teknologi Kelautan ITS. Surabaya.

- Roberts, D.G.M dan Cookman, I.J.R. 1981. Pre-treatment screenings and detritus removal. In Coastal discharges – engineering aspects and experience. **Proceedings of a Conference, Institution of Civil Engineers**. Thomas Telford Ltd. London. England.
- Shuto, N. Dan Ti, L.H. 1974. Wave effect on buoyant plumes. **Proc. 8th Cong. IAHR, pp.295 – 300.**
- Sorensen, R.M. 1998. Basic Coastal Engineering. **A Memorial University of Newfoundland, p-210.**
- Sharp, J.J. dan Power, K.C. 1985. The local effect of wave action on submerged effluent discharge. **Canadian Coastal Eng, pp.1 – 10.**
- Wright, S.J. 1977. Mean behaviour of buoyant jets in crossflow. **ASCE Journal of the Hydraulics Division, 103(HY5): 499-513.**



LAMPIRAN

Analisa Dimensi Untuk Model *Initial Dilution* Pada Percobaan

Pada Perairan Tenang

Diketahui bahwa harga *initial dilution* di perairan tenang (S_0) merupakan fungsi dari kedalaman *discharge* (z), diameter port (D), percepatan gravitasi (g') dan kecepatan jet (V).

Fungsi tersebut diatas dapat dituliskan sebagai :

$$S_0 = f(z, D, g', V)$$

Dimensi tiap-tiap variabel diatas adalah sebagai berikut :

$$S_0 = \text{Tidak berdimensi, } \pi$$

$$[z] = L$$

$$[D] = L$$

$$[g'] = LT^{-2}$$

$$[V] = LT^{-1}$$

- Jumlah varisbel, $n = 4$
- Jumlah dimensi primer, $j = 2$
- Jumlah persamaan yang dapat dibuat, $K = n - j = 4 - 2 = 2$
- Variabel berulang : g' dan D

Penyelesaian analisa dimensi diberikan sebagai berikut :

$$\pi_1 = f(D, g', z) = (L)^a \left(\frac{L}{T^2} \right)^b (L)$$

$$\pi_2 = f(D, g', V) = (L)^a \left(\frac{L}{T^2} \right)^b \left(\frac{L}{T} \right)$$

➤ Persamaan π_1 :

$$L : a + b + 1 = 0 \tag{1}$$

$$T : -2b = 0 \tag{2}$$

Substitusi persamaan (2) ke persamaan (1) :

$$a + 0 + 1 = 0$$

$$a = -1$$

$$b = 0$$

didapatkan :

$$\pi_1 = \left(\frac{L}{L} \right)$$

$$S_0 = f\left(\frac{z}{D}\right)$$

➤ Persamaan π_2 :

$$L : a + b + 1 = 0 \quad (3)$$

$$T : -2b - 1 = 0 \quad (4)$$

$$b = -\frac{1}{2} \quad (5)$$

Substitusi persamaan (5) ke persamaan (3) :

$$a + \left(-\frac{1}{2}\right) + 1 = 0$$

$$a = -\frac{1}{2}$$

didapatkan :

$$\pi_2 = \left(L^{-1/2}, \left(\frac{L}{T^2} \right)^{-1/2}, \left(\frac{L}{T} \right) \right)$$

$$S_0 = f\left(\frac{V}{\sqrt{Dg'}}\right)$$

Pada Perairan Dengan Pengaruh Arus

Diketahui bahwa harga *initial dilution* (S) merupakan fungsi dari *flow rate* (Q), buoyansi (B), momentum (M), kecepatan *effluent* (u_a) dan kedalaman *discharge* (z).

Dan dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$S = f(B, M, Q, u_a, z)$$

Dimensi dari tiap-tiap variabel diatas adalah sebagai berikut :

S = Tidak berdimensi, π

$$[Q] = L^3 T^{-1}$$

$$[M] = L^4 T^{-2}$$

$$[u_a] = L T^{-1}$$

$$[B] = L^4 T^{-3}$$

$$[z] = L$$

- Jumlah variabel , $n = 5$
- Jumlah dimensi primer, $j = 2$
- Jumlah persamaan yang dapat dibuat, $K = n - j = 5 - 2 = 3$
- Dengan repeating variabel : B dan u_a

Penyelesaiannya adalah sebagai berikut :

$$\pi_1 = f(B, u_a, z) = \left(\frac{L^4}{T^3} \right)^a \left(\frac{L}{T} \right)^b (L)$$

$$\pi_2 = f(B, u_a, M) = \left(\frac{L^4}{T^3} \right)^a \left(\frac{L}{T} \right)^b \left(\frac{L^4}{T^2} \right)$$

$$\pi_3 = f(B, u_a, Q) = \left(\frac{L^4}{T^3} \right)^a \left(\frac{L}{T} \right)^b \left(\frac{L^3}{T} \right)$$

➤ Persamaan π_1 :

$$L : 4a + b + 1 = 0 \quad (6)$$

$$T : -3a - b = 0 \quad (7)$$

$$b = -3a \quad (8)$$

Substitusi pers. (8) ke pers. (6) :

$$4a + (-3a) + 1 = 0$$

$$a = -1$$

$$b = 3$$

didapatkan :

$$\pi_1 = \left(\left(\frac{L^4}{T^3} \right)^{-1}, \left(\frac{L}{T} \right)^3, L \right)$$

$$S_u = f \left(z, \frac{u_a^3}{B} \right)$$

$$= f \left(\frac{z}{l_b} \right)$$

➤ Persamaan π_2 :

$$L : 4a + b + 4 = 0 \quad (9)$$

$$T : -3a - b - 2 = 0 \quad (10)$$

Eliminasi pers. (9) & (10) diperoleh :

$$a = -2$$

$$b = 4$$

didapatkan :

$$\pi_2 = \left(\left(\frac{L^4}{T^3} \right)^{-2}, \left(\frac{L}{T} \right)^4, \left(\frac{L^4}{T^2} \right) \right)$$

$$S_u = f \left(\frac{M^{\frac{1}{2}}}{u_a}, \frac{u_a^3}{B} \right)$$

$$= f \left(\frac{l_m}{l_b} \right)$$

➤ Persamaan π_3 :

$$L : 4a + b + 3 = 0 \quad (11)$$

$$T : -3a - b - 1 = 0 \quad (12)$$

Eliminasi pers. (11) & (12) diperoleh :

$$a = -2$$

$$b = 5$$

didapatkan :

$$\pi_3 = \left(\left(\frac{L^4}{T^3} \right)^{-2}, \left(\frac{L}{T} \right)^5, \left(\frac{L^3}{T} \right) \right)$$

$$S_u = f \left(\frac{Q}{M^{\frac{1}{2}}}, \frac{u_a^3}{B} \right)$$

$$= f \left(\frac{l_Q}{l_b} \right)$$



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp. (031) 5928105, 5994251-55 Ext. 1105
Fax : (031) 5928105
E-mail : imamr@oe.its.ac.id

SK TUGAS AKHIR (LL. 1327)
NO. : 051/K03.4.4/PP/2006

Mata Kuliah	:	Tugas Akhir
Kode	:	LL 1327
Nama	:	Puput Sukmana
Nomor Pokok	:	4301100041
Tanggal diberikan	:	10 Maret 2006
Tanggal Selesai	:	10 Maret 2007
Dosen Pembimbing	:	Dr. Ir. Mukhtasor, Meng. Sujantoko, ST, MT.

THEMA / URAIAN / DATA-DATA YANG DIBERIKAN / JUDUL TUGAS AKHIR :

**“ STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN PENGARUH ARUS DAN PENGARUH GELOMBANG
PADA INITIAL DILUTION OCEAN OUTFALL “**



Dibuat Rangkap 4 (empat) :

1. Mahasiswa Ybs.
2. Dekan FTK – ITS
3. Dosen Pembimbing
4. Arsip Jurusan.



Surabaya, 29 Maret 2006
Ketua Jurusan,

Ir. IMAM ROCHANI, MSc
NIP. 131 417 209

